



Biografía

Mertxe de Renobales Scheifler (Bilbao, 1948), licenciada en Ciencias Químicas (Universidad de Bilbao, 1975) y doctora en Bioquímica (Universidad de Nevada, Reno, 1979). Durante 13 años trabajó como investigadora y profesora en diversas universidades norteamericanas, principalmente en la Universidad de Nevada en Reno. Al volver al País Vasco, y tras 2 breves años como encargada de la Sección de Biotecnología en la Fundación Inasmet, se incorporó a la Facultad de Farmacia de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea como Catedrática de Bioquímica. Entre otras obligaciones docentes, imparte dos asignaturas sobre alimentos transgénicos en los Másteres "Calidad y Seguridad Alimentaria" y "Nutrición y Salud", origen de su interés por la Bioética. Ha sido Decana y Vicedecana de la Facultad de Farmacia y actualmente es la Directora de Calidad del Campus de Álava. Su trabajo de investigación, centrado en general en los lípidos, se refleja en más de 80 publicaciones científicas. Desde 1992 dirige un grupo de investigación multidisciplinar que estudia los aspectos bioquímicos, microbiológicos y tecnológicos que influyen en la calidad nutricional y sensorial de los quesos de oveja.

PREMIO “Junta General del Principado de Asturias- Sociedad Internacional de Bioética (SIBI)” 2009

Mertxe de Renobales Scheifler
Universidad del País Vasco
(España)

“Alimentos *más* sostenibles: Las semillas
transgénicas en la agricultura ecológica”

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

© Junta General del Principado de Asturias
© Sociedad Internacional de Bioética (SIBI)

Edita: Junta General del Principado de Asturias
Sociedad Internacional de Bioética (SIBI)

Depósito Legal: AS.-110 - 2010

Impresión: Grafymak, S.L. - Gijón

Edición no venal

PREMIO
**“Junta General del Principado de Asturias-
Sociedad Internacional de Bioética (SIBI)”**
2009

TEMA

**ALIMENTOS MÁS SOSTENIBLES:
LAS SEMILLAS TRANSGÉNICAS
EN LA AGRICULTURA ECOLÓGICA**

PREMIO 2009

“Junta General del Principado de Asturias Sociedad Internacional de Bioética (SIBI)”

ACTA DEL FALLO DEL JURADO

Tras evaluar los trabajos recibidos, y con respecto a los requisitos establecidos en las bases de la convocatoria, el Tribunal acuerda conceder el Premio al trabajo que obtuvo mayor puntuación, presentado con el lema:

TRANSGECOL

y título: *“Alimentos más sostenibles: las semillas transgénicas en la agricultura ecológica”.*

Abierto el sobre correspondiente a dicho lema, se comprueba que su autora es:

Dra. Mertxe de Renobales Scheifler

Gijón (España), 18 de diciembre de 2009

El Tribunal

Presidente

Vocales

Marcelo Palacios
(España)

Margarita Salas
(España)

Erwin Deutsch
(Alemania)

Santiago Dexeus
(España)

ALIMENTOS MÁS SOSTENIBLES: LAS SEMILLAS TRANSGÉNICAS EN LA AGRICULTURA ECOLÓGICA

Mertxe de Renobales Scheifler

Bioquímica y Biología Molecular

Facultad de Farmacia Universidad del País Vasco

Euskal Herriko Unibertsitatea

Dedicatoria

A Iker y a Gorka, con agradecimiento y cariño por vuestro apoyo y ayuda.

Agradecimientos

Quiero agradecer a la SIBI la concesión de este premio que me ha producido una gran alegría por el reconocimiento que supone a un trabajo basado fundamentalmente en mi experiencia docente, en vez de investigadora, y por ser totalmente inesperado. También quiero agradecer a aquellas personas con las que comparto en la Facultad la docencia de "los transgénicos", los Drs. Marian Mz. de Pancorbo, Juan Carlos Ruiz de Gordo, y específicamente a Leire Escajedo, compañeros y amigos. La Dra. Escajedo ha sido el motor que me ha impulsado desde el principio a escribir este trabajo, mejorando además el borrador con su crítica constructiva. Agradezco también al Dr. Jaime Costa su colaboración desinteresada y disposición a lo largo de varios años para aclararme aspectos agronómicos y los entresijos del proceso de autorización de cultivos modificados genéticamente en Europa. Finalmente, pero no en último lugar, mi agradecimiento más profundo a nuestro hijo Iker y a mi marido el Dr. Gorka Aulestia Txakartegi, por su cariño, comprensión y apoyo en estos meses en los que he dedicado casi todo mi tiempo libre a escribir este trabajo, en vez de hacer otras cosas que sin duda a ellos les habrían resultado más interesantes. Eskerrik asko denori! Muchas gracias a todos!

Índice

Título	3
Datos Académicos de la autora	5
Abreviaturas	9
CAPÍTULO I: LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y EL CUIDADO DE LA TIERRA: CLAVES DEL DEBATE ACTUAL	11
1.1.- Agricultura y producción de alimentos	12
1.1.1.- Sembrar para abastecerse	12
1.1.2.- Evolución de la agricultura: una aproximación histórica	12
1.2.- Nuestra relación con la naturaleza: proteger desde la responsabilidad	16
1.3.- Desarrollo sostenible, agricultura sostenible, alimentos sostenibles: ¿a qué se refieren estos conceptos?	19
1.3.1.- Desarrollo sostenible	19
1.3.2.- Agricultura y alimentos sostenibles	21
1.4.- De la polémica al debate constructivo para impulsar una producción más sostenible de los alimentos	24
CAPÍTULO II: LOS ALIMENTOS ECOLÓGICOS	27
2.1.- Aspectos históricos de la agricultura ecológica	27
2.1.1.- Tipos de agricultura	28
2.2.- Características de la agricultura ecológica	28
2.2.1.- Control de plagas y malezas	30
2.2.2.- Fertilidad del suelo	32
2.2.3.- Otros aspectos	33
2.3.- La regulación jurídica de la agricultura ecológica	35
2.4.- Productividad y precio: el talón de Aquiles de la agricultura ecológica	37
2.5.- Rechazo a los cultivos transgénicos en la agricultura ecológica	40
CAPÍTULO III: LOS ALIMENTOS TRANSGÉNICOS	45
3.1.- Pinceladas históricas	45
3.2.- ¿Cómo se hace una planta transgénica?	48
3.3.- Tipos de cultivos transgénicos	51
3.3.1.- Mejora de las características agronómicas	51
3.3.1.1.- Cultivos resistentes a insectos	53
3.3.1.2.- Cultivos tolerantes a herbicidas	54

3.3.1.3.- Cultivos resistentes a virus y enfermedades	56
3.3.1.4.- Cultivos tolerantes al estrés abiótico	56
3.3.2.- Mejora de las características nutricionales	58
3.4.- Inocuidad de los cultivos transgénicos	61
3.4.1.- Metodología de la evaluación de la inocuidad	62
3.4.2.- Genes que confieren resistencia a antibióticos	66
3.5.- Aportaciones de los cultivos transgénicos	67
3.5.1.- Beneficios para la salud de los consumidores	67
3.5.2.- Beneficios para la salud de los agricultores	69
3.5.3.- Reducción del uso de plaguicidas	70
3.5.4.- Aumento de la productividad	73
3.5.5.- Aspectos socioeconómicos	74
3.6.- Cuestiones abiertas sobre aspectos medioambientales	75
3.6.1.- Desarrollo prematuro de resistencia a la proteína Bt en insectos diana	76
3.6.2.- Efectos sobre la biodiversidad	77
3.6.3.- Flujo de genes	78

CAPÍTULO IV: AGRICULTURA ECOLÓGICA Y VARIEDADES TRANSGÉNICAS, ¿SON INCOMPATIBLES? ALGUNAS SUGERENCIAS PARA LA REFLEXIÓN	81
4.1.- El concepto de <i>natural</i> aplicado a los cultivos que nos sirven de alimento	81
4.2.- Mejora convencional de los cultivos	84
4.3.- La evaluación de los alimentos no transgénicos antes de su comercialización	89
4.3.1.- Residuos de plaguicidas de síntesis química en alimentos	91
4.3.2.- Concentraciones de compuestos de interés nutricional	92
4.4.- Consecuencias del rechazo a los cultivos transgénicos y la responsabilidad hacia las generaciones presentes y futuras	94
4.4.1.- Pérdida de competitividad de los agricultores y ganaderos europeos	94
4.4.2.- Influencia de la actitud europea antitransgénica en el desarrollo de la agricultura en África	96

CAPÍTULO V: HACIA UNA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS MÁS SOSTENIBLE: UTILIZACIÓN DE SEMILLAS TRANSGÉNICAS EN LA AGRICULTURA ECOLÓGICA	103
---	-----

A MODO DE EPÍLOGO	107
--------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS REFERENCIAS DOCUMENTALES	109
--	-----

ABREVIATURAS

ADN	ácido desoxirribonucleico.
CIMMYT	Centro Internacional para la Mejora del Maíz y del Trigo (México).
DDT	diclorodifeniltricloroetano.
EEUU	Estados Unidos de América.
EFSA	European Food Safety Authority (Autoridad Europea para la Seguridad Alimentaria).
EGE	European Group of Ethics (Grupo Europeo de Ética).
FAO	Food and Agriculture Organization (Organización para la Alimentación y la Agricultura) de las Naciones Unidas.
IAASTD	International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development.
OMG	organismo(s) genéticamente modificado(s).
ONG	organizacion(es) no gubernamental (es).
ONU	Organización de Naciones Unidas.

CAPÍTULO I: LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS Y CUIDADO DE LA TIERRA: CLAVES DEL DEBATE ACTUAL

En Europa, principalmente, y también en Estados Unidos de América existe hoy día un intenso debate entorno a la producción de alimentos de origen vegetal. Junto a otros temas, en el foco de la polémica se sitúan las técnicas de la agricultura ecológica (orgánica, en los países anglosajones) frente al uso de semillas transgénicas en la agricultura convencional. Alimentos ecológicos y alimentos transgénicos tienden a presentarse ante la opinión pública como dos bloques claramente separados, dos métodos claramente diferenciables y que parecen estar *intrínsecamente asociados* a opciones ético-sociales y políticas en temas como el comercio internacional, las relaciones con los países en vías de desarrollo, la defensa del consumidor o la protección del medio ambiente. Defensores de ambos métodos de producción de alimentos son quienes tienden así a situar el quid de la cuestión en el enfoque ético del método que propugnan, descalificando totalmente al otro. En nuestra opinión, esta controversia es estéril. Coloca a cada bando a la defensiva, sin capacidad de escuchar. Los tópicos que con frecuencia se esgrimen en los acalorados debates, impiden detenerse a entender y reflexionar sobre los aspectos positivos que puede ofrecer la otra alternativa.

En la última década esta forma de proceder ha dificultado la búsqueda de sinergias, los espacios en los que es posible aunar esfuerzos y, en cierto modo, se ha perdido la perspectiva. Las legislaciones, al menos la de la Unión Europea, no han contribuido en exceso, porque, quizá más por descoordinación que de forma intencionada, han venido rechazando unos métodos de producción y favoreciendo otros. Y quizá por ello creemos que es el momento de analizar en profundidad dónde están realmente los puntos de desencuentro y a qué se deben, para lanzarse después a la aventura de buscar puntos de encuentro. Nos anima el convencimiento de que la sostenibilidad y la garantía de un acceso al alimento de todos los seres humanos son objetivos irrenunciables. En junio de 2009, la FAO anunció que, por primera vez en la historia, las personas que padecen hambre en el mundo superan los mil millones, es decir, una de cada seis personas¹.

El tema propuesto por la SIBI en esta convocatoria, "Alimentos transgénicos, alimentos ecológicos: aspectos bioéticos", nos ha animado a examinar de la manera más objetiva posible, y tratando positivamente de desprendernos de los prejuicios que podamos tener, ambos métodos de producción de alimentos, en el marco de la Bioética en sentido amplio. Para ello nos guiaremos por la definición de *Bioética Global* de Palacios que la define como:

"la disciplina encargada del análisis de los avances y utilización de las ciencias y tecnologías, para proponer orientaciones éticas aplicables que los armonicen con el

respeto a la dignidad humana y a la protección y conservación del medio ambiente, las especies y la naturaleza"².

Entendemos que en este contexto la palabra "conservación" se refiere al cuidado, respeto, o simplemente protección del medio ambiente y la diversidad biológica. La palabra "conservación", empleada con frecuencia en muchas disciplinas académicas y en los medios de comunicación, puede hacer pensar a algunas personas que es posible mantener el medio ambiente en un determinado estado que, obviamente, no puede estar definido. Vemos el respeto a la naturaleza como un acercamiento a una realidad sujeta a las leyes de la evolución, puesto que la naturaleza es dinámica y cambiante, independientemente de la existencia del ser humano. Todos los seres vivos, de alguna manera, han dejado su huella, mayor o menor, en el ecosistema³ en el que han vivido⁴. Ser conscientes de su grandeza y del impacto que le estamos ocasionando, es la semilla de nuestro compromiso para no expoliarla.

1.1.- Agricultura y producción de alimentos

1.1.1.- Sembrar, para abastecerse

La agricultura es, fundamentalmente, el conjunto de prácticas que utilizamos para cultivar una serie de plantas que nos sirven de alimento, tanto a los seres humanos como a los animales domésticos.

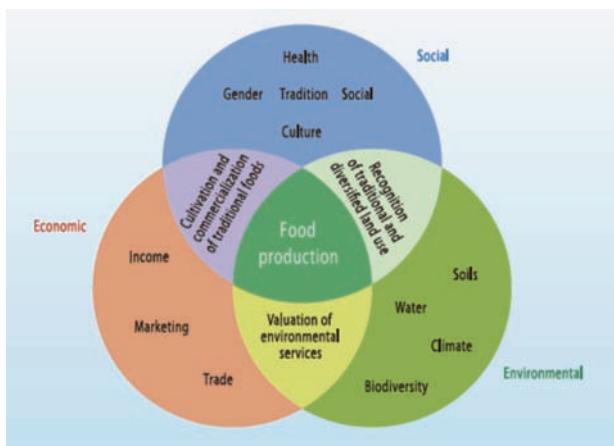
Pero, como la mayor parte de las actividades humanas, tiene diversas vertientes. Además de proporcionarnos alimentos, para los seres humanos y para los animales, nos permite obtener directamente fibras textiles, combustibles, productos medicinales y plantas ornamentales. La agricultura también nos proporciona servicios medioambientales y lúdicos, y mantiene muchas tradiciones culturales. Así, la agricultura tiene tres dimensiones principales: económica, social y medioambiental (Figura 1).

1.1.2.- Evolución de la agricultura: una aproximación histórica

El ser humano, como todo ser vivo, también interacciona con los ecosistemas en los que vive modificándolos a través de actividades como la construcción de ciudades con sus urbanizaciones en las afueras, áreas para actividades recreativas, actividades industriales de todo tipo, la agricultura, la silvicultura, la pesca, y la ganadería. Para todas ellas necesita utilizar terrenos que antes estaban cubiertos por ecosistemas naturales, como pudieran ser bosques o praderas, y para algunas actividades, cada día en aumento constante, se empieza a utilizar igualmente medios acuáticos (ríos, lagos, océanos).

Los animales, entre los que se incluye la especie humana, no podemos producir los compuestos que necesitamos para vivir sin utilizar a otros seres vivos, como lo hacen, por ejemplo, las plantas. Por tanto, no tenemos otra alternativa que alimentarnos de éstas, o de otros animales. Puesto que tenemos que comer, y somos conscientes de la interrelación existente entre todos los seres vivos del planeta, tenemos el deber moral de utilizar lo mejor que la ciencia y la tecnología nos ofrecen en cada momento para producir alimentos, sabiendo que las panaceas no existen y que con toda probabilidad será imposible encontrar un sistema (o sistemas) completamente libre de problemas.

Figura 1.- Dimensiones principales de la Agricultura.



Tomada de "Agriculture at a Crossroads – Synthesis report" (IAASTD, 2008; <http://www.agassessment.org>).

Por lo que sabemos, el ser humano es el único entre los seres vivos que es consciente de sus acciones y puede reflexionar sobre su relación con el medio ambiente y la influencia que sus acciones tienen en el resto de los seres vivos de su entorno. El impacto del ser humano en el medio ambiente depende muy directamente, además del tipo de actividad, del número de individuos que realizan determinadas actividades. Este hecho se aplica también a actividades de otros seres vivos que con frecuencia olvidamos. Por ejemplo, el aumento de la concentración de oxígeno en la atmósfera del planeta a lo largo de muchos millones de años fue la consecuencia del creciente número de microorganismos fotosintéticos⁵.

Como es sabido, la agricultura nació aproximadamente entre el 10º y el 8º milenio antes de la era actual, en diferentes lugares del planeta, de manera independiente.

La necesidad de producir alimento para una población cada vez mayor y el desarrollo industrial son dos de los factores que explican porqué el impacto ambiental que genera el ser humano ha crecido tanto desde mediados del siglo XIX. En la evaluación de dicho impacto, no obstante, además de los aspectos cuantitativos, son muy relevantes las circunstancias históricas y geográficas y, sobre todo, al estado de la ciencia y la tecnología. Por ejemplo, en la época en que Thomas Malthus escribió su famoso libro *An Essay on the Principle of Population* (1798), las hambrunas eran frecuentes en Europa. En aquella época se necesitaban, por término medio, unas 2 hectáreas (ha) para producir el alimento anual necesario para una persona⁶. Debido al enorme aumento de la población entre finales del siglo XIX (1.260 millones en 1850) y mediados del XX (unos 3.000 millones hacia 1960)⁷, la superficie de cultivo a mediados del siglo XX era 5 veces mayor que 150 años antes, lo que significó la roturación de grandes extensiones de hábitats naturales y bosques. En la actualidad, y aunque la población del mundo se ha doblado, alcanzando más de 6.000 millones de personas, gracias a la aplicación de los conocimientos científicos y al desarrollo de la tecnología agrícola, el alimento necesario para cada persona se puede producir hoy día en algo menos de 0.2 ha.

A grandes rasgos, resumimos algunos hitos en la evolución de las prácticas agro-nómicas convencionales durante el siglo XX (Tabla 1):

Tabla 1.- Algunos hitos de la agricultura en el siglo XX.

Fecha	Acontecimiento
1908	Fritz Haber y Carl Bosch consiguen la síntesis química del amoníaco (a partir de nitrógeno atmosférico) que permitió el desarrollo de los fertilizantes nitrogenados.
1929	depresión económica en Estados Unidos.
1939	Paul H. Muller descubre las propiedades insecticidas del DDT (compuesto sintetizado por primera vez en 1874).
1944-1954	El Dr. Norman Borlaug trabaja en el CIMMYT (México) desarrollando el trigo de alta productividad y resistente a la roya.
1956	México es autosuficiente en producción de trigo.
1968	Pakistán es autosuficiente en producción de trigo.
1970	El Dr. Borlaug recibe el Premio Nobel de la Paz por el desarrollo del trigo de alta productividad que redujo notablemente el hambre en el mundo.
1974	India es autosuficiente en producción de todos los cereales.
1960-1980	años aproximados que duró la llamada Revolución Verde en Asia y América.

Adaptado de F García Olmedo. 2009. *El Ingenio y el Hambre*. Crítica, diversas páginas.

Las prácticas agronómicas anteriores al siglo XX se podrían considerar como "ecológicas" en general ya que no se utilizaban productos químicos de síntesis para proteger a los cultivos frente a las plagas, insectos o malas hierbas. El uso de los fertilizantes nitrogenados no se generalizó hasta los años entre las dos guerras mundiales. En Estados Unidos, a comienzos de la década de 1920 la producción agrícola bajó muchísimo debido a una fuerte sequía prolongada que enlazó con la crisis económica de 1929⁸, algo que sirvió de impulso a la investigación y desarrollo de herramientas y técnicas que pudieran evitar o al menos paliar situaciones como aquella. En 1939 Paul H. Muller descubrió las propiedades insecticidas del DDT. Debido a su eficacia para controlar una gran variedad de insectos dañinos para la agricultura y aumentar considerablemente los rendimientos, su uso se extendió rápidamente. Después de la segunda guerra mundial la producción de fertilizantes nitrogenados y compuestos agroquímicos aumentó considerablemente posibilitando la Revolución Verde de los años 60 y 70⁹.

Durante estos años la producción de grano, sobre todo trigo y arroz, aumentó espectacularmente en algunos países en desarrollo, como México, Pakistán e India gracias a las variedades de trigo enanas y resistentes a la roya (enfermedad fúngica causante de grandes pérdidas) que desarrolló Norman Borlaug (1914-2009) en el Centro de Mejora del Maíz y del Trigo (CIMMYT) en México entre 1944 y 1954. Unos años más tarde, el arroz de alta productividad, obtenido por Borlaug y su equipo, también era una realidad. México, que en 1944 importaba el 60% del trigo que consumía, fue autosuficiente para 1956. Pakistán lo fue en trigo en 1968 e India produjo toda la cantidad de cereales que necesitaba en 1974, pasando de producir 12.3 millones de toneladas de trigo en 1965 a 20 millones en 1970. En 1960 la producción mundial de grano fue de 692 millones de toneladas, aumentando hasta 1.900 millones en 1992 para lo que la superficie de cultivo aumentó sólo en un 1%¹⁰.

La Revolución Verde de las décadas de 1960 y 70 frenó la destrucción de habitats naturales de las décadas anteriores al multiplicar por tres la productividad de los cultivos¹¹, y se calcula que más de 1.000 millones de personas se libraron de morir de hambre en esos años. Por todo ello, el Dr. Borlaug recibió el Premio Nobel de la Paz en 1970, siendo el único Premio Nobel concedido hasta el día de hoy por innovaciones en agricultura, a pesar de que más del 70% de la población mundial vive de ella.

El aumento espectacular de la productividad de los cultivos conllevó un aumento del 97% de la superficie agrícola de regadío, y aumentos del 638%, 203%, y 854% en el uso de los fertilizantes nitrogenados y fosfatados, y en la producción de plaguicidas, respectivamente. La población del mundo se duplicó entre los años 1961 y 1999 llegando a los 6.000 millones de personas. Sin embargo, a pesar de este gran incremento de la población, la superficie agrícola mundial aumentó solamente un 12% y la superficie dedicada a pastos aumentó un 10%¹².

En la actualidad, con unos 6.500 millones de personas de los que 1.000 millones pasan hambre, estamos utilizando aproximadamente la mitad del terreno de mejor

calidad disponible en todo el mundo para la producción agrícola intensiva y pastoreo de ganado vacuno y ovino¹³. El Programa Mundial de Alimentos ha reconocido que con lo recogido en 2009 no alcanzará, ni de lejos, para ayudar a esas personas y las perspectivas de futuro tampoco son muy alentadoras. La población del planeta sigue en aumento y se calcula que superará los 9.000 millones de personas hacia el año 2050. Para entonces necesitaríamos, como mínimo, doblar la producción de alimentos.

¿Implica ello utilizar más terrenos? No necesariamente. En la misma línea que apostillábamos los datos de la época de Malthus, una de las claves está en el nivel de aprovechamiento que se alcance de cada hectárea. Como en épocas históricas anteriores, el desarrollo de nuevas tecnologías y prácticas agrícolas permitirá optimizar la producción de alimentos, de modo que se alcance una cantidad suficiente sin necesidad de aumentar excesivamente la superficie cultivada. No menos importante será lograr que tanto la producción como la distribución de esa cantidad suficiente de alimentos sea, asimismo, objeto de un justo reparto entre la población mundial.

1.2.- Nuestra relación con la Naturaleza: proteger desde la responsabilidad

Ya Van Rensselaer Potter desarrolló la idea de una Bioética Global, como describe Lecaros¹⁴, poniendo en el centro de sus preocupaciones los desafíos de la supervivencia del ser humano en el entorno, aunque sin perder de vista los problemas biomédicos. Como ya hemos indicado más arriba, para Palacios la Bioética Global debe orientar el uso de la ciencia y la tecnología para promover el desarrollo de las sociedades, armonizando el respeto a la dignidad humana con el respeto al medio ambiente y a los demás seres vivos¹⁵.

Hasta hace relativamente pocos años, la tradición occidental ha considerado que el ser humano era el centro de la naturaleza y sus planteamientos éticos han sido totalmente antropocéntricos¹⁶. Los seres vivos no humanos, y la naturaleza, podían ser utilizados como instrumentos para su beneficio, sin preocuparse para nada de cómo sus acciones influían, mejor o peor, en el desarrollo o incluso extinción de otras especies de animales no humanos o vegetales.

A partir de la década de los 60 del siglo XX, se produjo un cambio profundo en la visión dominante influenciado por el movimiento ecologista, y aparecieron nuevos conceptos, como el de "calidad del medio ambiente" y "satisfacción", que iban más allá del argumento del dominio de la naturaleza, y del desarrollo económico sin límite¹⁷. La calidad del medio se empezó a considerar necesaria para las actividades lúdicas.

En la actualidad, podemos distinguir, al menos, dos posturas con respecto a la relación del ser humano con la naturaleza:

- El *biocentrismo* centra su consideración moral en todos los seres vivos por igual porque entiende que la vida es valiosa por sí misma¹⁸. El ser humano tiene la misma dignidad y los mismos derechos que los demás seres vivos.
- La ética de la *responsabilidad*, propuesta por Hans Jonas¹⁹. El ser humano, al interaccionar con la naturaleza y modificarla, deja de ser conquistador de lo que existe sobre el planeta Tierra y se convierte en un miembro más de esta comunidad de seres vivos, siendo, por su capacidad intelectual, responsable de los demás seres vivos que habitan en su entorno.

El Comité Asesor de Ética en la Investigación Científica y Técnica propone los siguientes cinco principios éticos fundamentales que, en nuestra opinión, desarrollan las ideas de la ética de la responsabilidad²⁰:

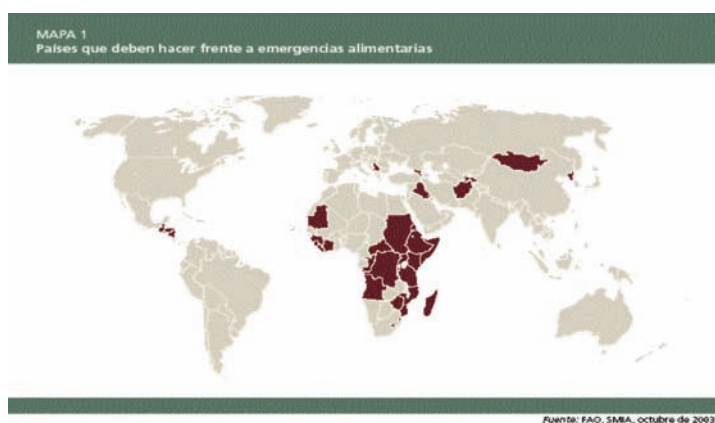
1. No dañar a los seres humanos.
2. Beneficiar positivamente a los seres humanos, tanto a las generaciones actuales como a las futuras, potenciando efectivamente sus posibilidades de desarrollo.
3. Tener en cuenta dialógicamente a todos los seres humanos afectados por las normas a la hora de tomar decisiones sobre dichas normas.
4. Distribuir equitativamente las cargas y los beneficios, teniendo como referencia el nivel ético alcanzado por la sociedad correspondiente. Esto es particularmente importante en el caso que nos ocupa en las relaciones entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo.
5. Responsabilizarse por la naturaleza, lo que, como ya hemos indicado, se concreta cada vez más claramente en la obligación de trabajar por un desarrollo sostenible.

Los cuatro primeros principios se basan en el reconocimiento de la dignidad del ser humano, mientras que el último implica una relación de los humanos con el resto de los seres vivos que no puede ser de depredación y expolio, aunque reconociendo también que la supervivencia de las personas depende del resto de los seres vivos. El respeto a la naturaleza no significa, como bien describe Masiá, que la naturaleza –los demás seres vivos– haya que dejarla tal y como está, sino que se modifica pero sin arrasarla; se utiliza la tecnología mejor y menos contaminante, o la combinación de tecnologías más adecuadas para resolver los problemas²¹.

El respeto a la dignidad humana que está en la base de toda consideración ética nos lleva a responsabilizarnos de aquellas personas que precisan ayuda para sobrevivir. Como ya hemos indicado, en la actualidad, más de 1.000 millones de personas, aproxi-

madamente una de cada seis, sufren malnutrición y, con excesiva frecuencia, pasan hambre extrema. La figura 2 muestra el mapa del hambre extrema en el mundo: África subsahariana, América Central y algunos países de Asia.

Figura 2.- Mapa del hambre extrema del mundo.



Tomado del informe de la FAO *"El estado mundial de la Agricultura y la Alimentación. La Biotecnología Agrícola: ¿una respuesta a las necesidades de los pobres?"* (2003-2004).

Es cierto que el porcentaje de la población subnutrida ha disminuido considerablemente en la mayor parte del mundo entre los años 1969 y 2001, estando por término medio entre el 10 y el 15%. Sin embargo, en 2003 en África subsahariana se mantenía alrededor del 33%, prácticamente igual que en 1969²².

La pobreza está en la base de la malnutrición, impidiendo o dificultando la accesibilidad a los alimentos, y la malnutrición, a su vez, influye decisivamente en el estado de salud de la persona y en su esperanza de vida. En el año 2000 los 192 países que son miembros de las Naciones Unidas acordaron desplegar esfuerzos comunes para hacer realidad en 2015 los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio²³. El primero de ellos es "erradicar la pobreza extrema y el hambre".

Entendemos que la producción de alimentos se debe enmarcar en esta Ética de la Responsabilidad, tanto si para ello se utilizan las aplicaciones de la moderna biotecnología, y concretamente las semillas modificadas genéticamente, como si los alimentos se producen mediante técnicas de agricultura ecológica (o convencional).

Siguiendo las mismas ideas de la Bioética Global de Palacios y la *Ética de la Responsabilidad* de Jonas, ya mencionadas, el Grupo Europeo de Ética de la Ciencia y

las Nuevas Tecnologías, en su reciente informe sobre las implicaciones éticas de los modernos desarrollos en tecnologías agrícolas, examina éstas a la luz de las siguientes prioridades:

- Seguridad alimentaria²⁴; es decir, la disponibilidad (que implica accesibilidad física y económica) de alimentos diversos en cantidad y calidad nutritiva suficiente para permitir a todos los seres humanos llevar una vida activa y satisfactoria.
- Inocuidad de los alimentos: o lo que es lo mismo, que éstos sean saludables, no sean tóxicos ni causen problemas de salud a los consumidores.
- Sostenibilidad de los métodos de producción, considerando también el transporte y la distribución de los alimentos.

Las dos primeras prioridades se enmarcan en el concepto de respeto a la dignidad humana, mientras que la tercera considera la responsabilidad del ser humano frente a los demás seres vivos.

1.3.- Desarrollo sostenible, agricultura sostenible, alimentos sostenibles: ¿a qué se refieren estos conceptos?

1.3.1. Desarrollo sostenible

La definición de sostenibilidad más conocida es quizá la del Informe Brundtland (de la Comisión Mundial de 1987)²⁵ que extendió el concepto de sostenibilidad a todas las actividades que conducen al desarrollo de una sociedad:

"consiste en satisfacer las necesidades del presente sin poner en entredicho la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades".

Este informe representa la evolución de un planteamiento que comenzó a fraguarse en la década de 1970. Entonces, diferentes grupos de expertos dieron a conocer escritos en los que se denunciaban, por inviables, los modelos de desarrollo dominantes. Entre ellos, destacó el Informe del Club de Roma -o Informe Meadows- titulado *Los límites del crecimiento*²⁶.

Aplicado a los alimentos, y teniendo en cuenta las dos vertientes de la Ética de la Responsabilidad, distinguiremos dos aspectos de la sostenibilidad íntimamente relacionados entre sí:

1. La sostenibilidad del alimento como tal.
2. La sostenibilidad de sus métodos de producción.

El primer punto se refiere a la responsabilidad hacia las generaciones presentes y futuras, abarcando dos aspectos principales:

- La inocuidad del alimento para el consumidor, y su calidad nutricional y sensorial;
- Su accesibilidad, no sólo en la cantidad necesaria para satisfacer la demanda energética y de nutrientes para una vida activa y saludable de todos los sectores de la población mundial, sino también las preferencias alimentarias de las personas²⁷.

El segundo punto se refiere a la responsabilidad para con los seres vivos no humanos y con el medio ambiente, e incluye aspectos productivos tales como el uso del suelo agrícola, del agua, y de los compuestos fitosanitarios y su repercusión en los animales y en la contaminación de los acuíferos, el mantenimiento de la capa superior de la tierra de cultivo evitando su erosión, las diferentes prácticas agronómicas, etc.

Aunque no lo hemos mencionado expresamente, la dimensión económica está también implícita en los dos puntos, ya que esto le permitirá al agricultor mejorar su nivel de vida, lo que, a su vez, permitirá también el desarrollo de sistemas socioculturales locales. El desarrollo de sistemas socioculturales locales es uno de los objetivos que propugna la agricultura ecológica dentro del marco de su filosofía²⁸. La falta de recambio generacional en la mayoría de los sectores rurales por la migración de las generaciones jóvenes a las ciudades, motivado entre otras razones por una rentabilidad económica muy limitada, es una realidad muy extendida²⁹, por desgracia.

Un estudio reciente realizado en Holanda³⁰ entre un variado grupo de agricultores (hombres y mujeres, convencionales, ecológicos, y de otras prácticas agronómicas) revela que para todos la rentabilidad económica es muy importante, aunque el mayor o menor énfasis en este aspecto depende del grado de idealismo de la persona. La importancia que se le concede a la sostenibilidad social (reducción de pobreza, comercio justo, precios justos) y a la responsabilidad hacia el ecosistema varía mucho, siendo en general los agricultores ecológicos los que más resaltan estos aspectos. Aiken³¹ extiende la rentabilidad económica a todos los sectores implicados en la producción de alimentos, empezando por los propios agricultores, pero también a los productores de semillas, de maquinaria agrícola, de productos fitosanitarios, etc.

El concepto de *sostenibilidad* puede tener distintos matices según el organismo que lo defina. Como describen Clonan y colaboradores³², la organización "Sustain: Alliance for Better Food and Farming" incluye componentes sociales, medioambientales y económicos. Para ellos los alimentos sostenibles son saludables, accesibles, nutritivos, respetuosos con el medio ambiente y la biodiversidad, promueven prácticas de comercio justo, y respetan los derechos de los trabajadores a lo largo de la cadena alimentaria. Sin embargo, los nutricionistas resaltan los aspectos saludables y nutritivos de los alimentos, mientras que la Asociación del Suelo (Asociación de granjas ecológicas del Reino Unido) promueve la producción de alimentos sin utilización de pesticidas químicos, y la Asociación de Comercio Justo resalta las prácticas comerciales justas.

1.3.2.- Agricultura y alimentos sostenibles

Por su parte, el Instituto de Agricultura Sostenible del Consejo Superior de Investigaciones Científicas³³, dedicado principalmente a los sistemas agrícolas andaluces, resalta fundamentalmente los aspectos productivos y medioambientales:

"es una producción agrícola eficiente y estable, con un compromiso especial con la cantidad y/o calidad de la producción, que conserva los recursos naturales de los sistemas agrícolas y disminuye los impactos negativos de la agricultura sobre el medio ambiente".

El *Keystone Alliance for Sustainable Agriculture* da un paso más considerando que la agricultura sostenible no sólo satisface las necesidades del presente sino que, además, mejora [el subrayado es nuestro] la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Para ello propone:

- “El aumento de la productividad agrícola para satisfacer las necesidades nutricionales futuras disminuyendo, a la vez, el impacto sobre el medio ambiente, incluyendo el uso del agua, el suelo, el hábitat, la calidad del aire y las emisiones y la superficie de cultivo;
- la mejora de la salud humana mediante el acceso a alimentos nutritivos e ino- cuos, y
- la mejora del bienestar social y económico de las comunidades agrícolas”³⁴.

En estos últimos años, la productividad (o rendimiento) de los cultivos es un aspecto cuya importancia se ha resaltado en la agricultura convencional, incluida la bio- tecnológica que utiliza semillas transgénicas, pero pocas veces se menciona en relación con los cultivos ecológicos. Cuando se ha hecho, con frecuencia ha sido en tono negati- vo, como si la productividad fuera algo propio de una sociedad interesada únicamente en el progreso económico, sin preocuparle la calidad de vida de sus habitantes, la calidad nutritiva de los alimentos producidos, o la salud del planeta³⁵.

Aunque esto ha sido así en muchos sectores productivos, incluido el de la pro- ducción de alimentos, en nuestra opinión, la productividad de los cultivos es un aspecto fundamental de la sostenibilidad de cualquier sistema agrario por varias razones. Por una parte, incide directamente en la mejora de la salud humana que depende en gran medida de la disponibilidad de alimentos. Por otra, una mayor productividad también propor- ciona al agricultor mayor rentabilidad económica que, en definitiva, contribuye a mejo- rar las condiciones de vida de las comunidades agrícolas.

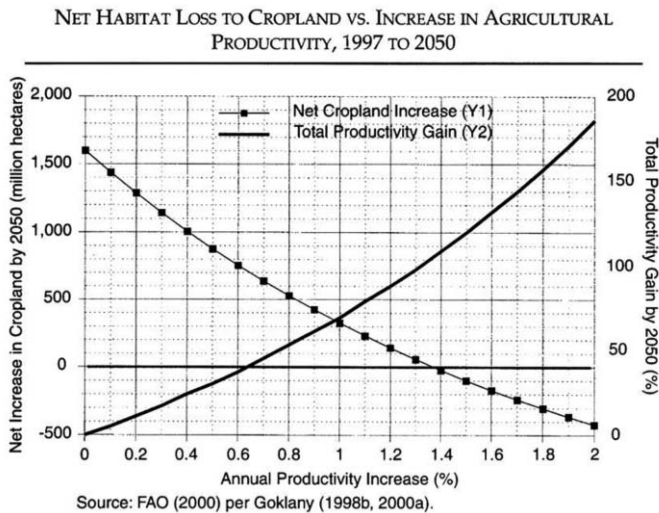
Además, una baja productividad implica la roturación de cantidades adicionales de terreno para obtener la misma cantidad de alimentos, lo que tendría consecuencias muy negativas para la biodiversidad animal y vegetal debido a la destrucción de hábitats, poniendo en entredicho su sostenibilidad. Así, en 1997 Goklany estudió el impacto que

podía tener la productividad relativa de los cultivos en la cantidad de superficie necesaria para alimentar a una población que, en aquel momento, se consideraba que alcanzaría los 9.000 millones de personas en 2050³⁶. La Figura 3 recoge el resultado de su estudio.

Si la productividad media de los cultivos en 2050 es la misma que en 1997, la totalidad del aumento en la producción de alimentos tendrá que salir del aumento en la superficie cultivada que tendrá que duplicarse, añadiendo otras 1.600 millones de ha a los 1.500 millones que ya se estaban cultivando. Esto supondría una enorme pérdida de ecosistemas con la correspondiente pérdida de biodiversidad. Si, por el contrario, la productividad aumentara un 1.4% cada año, no sería necesario aumentar la superficie de cultivo, mientras que si aumentara un 2% anual en ese periodo de tiempo, se podrían "devolver" más de 400 millones de ha a la naturaleza y restaurar habitats naturales.

Figura 3.- Pérdida neta de hábitats al aumentar la superficie de cultivo en función del aumento anual de productividad agrícola entre 1997 y 2050. Aumento total de la superficie de cultivo: • Aumento total de la productividad: _____

- Eje vertical izquierdo: aumento neto de la superficie de cultivo para 2050 (millones de ha).
- Eje vertical derecho: aumento total de la productividad para 2050 (%).
- Eje horizontal: aumento anual de la productividad (%).



Tomado de I Goklany. 2001. The Precautionary Principle. Cato Institute, Washington.

La multinacional Bayer recoge un aspecto diferente del concepto de sostenibilidad en su página web³⁷: "una agricultura sostenible debe lograr un equilibrio armónico entre el éxito económico, la responsabilidad ecológica y la *aceptabilidad social*" (la cursiva es nuestra). Aunque la multinacional no aclara lo que entiende por aceptabilidad social, suponemos que se refiere a la producción de alimentos que una comunidad en concreto considere adecuados y aceptables, ya que no se puede imponer un determinado tipo de alimento a ningún sector de la población sin su conocimiento ni consentimiento. Este concepto implica la producción de alimentos específicos en diferentes comunidades.

Muñoz³⁸ también destaca la importancia de producir más alimentos en menos tierra, haciendo un buen uso de la tierra y del agua, y reduciendo el uso de plaguicidas y herbicidas. Además, añade que:

"este proceso no debe hacer olvidar que los problemas de la alimentación en el mundo no son una simple consecuencia de los problemas de producción, sino que hay que tener en cuenta las cuestiones sociales que tienen que ver con la disponibilidad, la capacidad de adquisición y la distribución".

En nuestra opinión, esta frase resalta, entre otros aspectos, la importancia de la producción de alimentos *in situ*, es decir, allá donde más se necesitan, ya que la distribución de alimentos no es sencilla en aquellos países, o regiones, en los que las carreteras y otras infraestructuras de transporte son deficientes o inexistentes, por ejemplo en África subsahariana³⁹. Al fallar la distribución de alimentos producidos en otros lugares falla también la disponibilidad y la capacidad de adquisición de los mismos, ya que la distribución tiende a aumentar su precio. La importación de alimentos, solución aparentemente fácil, aumentaría el desempleo rural en países en los que la seguridad del medio de vida de más del 60% de las familias rurales depende de la agricultura⁴⁰.

Además, la producción de alimentos *in situ*, por agricultores pequeños e industriales, tiene un efecto muy positivo en el desarrollo de las comunidades locales a través del aumento de la renta de los agricultores, de la creación de puestos de trabajo, y disminución de la dependencia de otros países. Por otra parte, evita los canales de distribución largos, con lo que se reduce el consumo energético en el transporte. Según recientes declaraciones del Director de la FAO, "el desafío no es tan solo incrementar la futura producción mundial, si no aumentarla allí donde es más necesario y por aquellos que lo necesitan más"⁴¹.

En esta misma línea, el reciente informe de la *Royal Society* del Reino Unido, "*Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture*"⁴², destaca que si la agricultura debe contribuir a la desaparición de la pobreza, se deben estudiar las tecnologías para aumentar la producción en sus contextos concretos sociales y económicos, así como en el contexto más amplio de su aceptación por la comunidad.

Apoyamos completamente las palabras de García Olmedo:

*"Si queremos alimentar en un futuro a una humanidad que crece en número, tendremos que producir más por cada hectárea, incluso si reducimos la proporción de productos cárnicos en la dieta; y, en segundo lugar, tendremos que producir de una forma más limpia. La agricultura ha sido contraria al medio ambiente desde su invención, hace ya 10 milenios. De hecho, ha sido tanto más contraria cuanto más primitiva. En el debate actual se olvida o se oculta el hecho de que fueron innumerables las culturas agrarias que declinaron o se extinguieron porque no eran sostenibles. Asegurar la sostenibilidad del sistema agrario actual, seriamente amenazada, debe ser una prioridad de la investigación especializada y de la aplicación práctica de los conocimientos actuales"*⁴³.

El informe de la Royal Society del Reino Unido que acabamos de mencionar reconoce la necesidad imperiosa de aumentar la producción global de alimentos para hacer frente al aumento de población previsto para 2050, sin aumentar la cantidad de tierra cultivada. Insiste en que esto se debe hacer sin dañar más los ecosistemas y sin un uso excesivo de recursos no renovables. Introduce el concepto de "intensificación sostenible" de la agricultura global a gran escala en el que la productividad no se mida exclusivamente por el rendimiento por hectárea, sino también por el rendimiento por unidad de recursos no renovables utilizados, concepto que también utiliza la agroecología. Concluyen que el reto es enorme, por lo que no se puede descartar ninguna tecnología ni sistema agrícola.

1.4.- De la polémica al debate constructivo, para impulsar una producción más sostenible de los alimentos

Coincidiendo con muchas de las opiniones que hemos recogido, entendemos que una producción sostenible de alimentos debe prestar atención a tres aspectos o pilares fundamentales:

- Justicia social y aceptabilidad por las comunidades:
 - Alimentos accesibles en cantidad, diversidad, y calidad, tanto nutricional como sensorial.
 - Producción de alimentos in situ para favorecer su accesibilidad a la población local, y el desarrollo de las comunidades locales.
- Rentabilidad económica:
 - Mejora de la productividad de los cultivos
 - Precios justos en vez de subvenciones agrícolas.
- Respeto hacia el medio ambiente:

- Reduciendo la cantidad de productos agroquímicos, el consumo del agua, el consumo energético, las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, la erosión del suelo.
- No aumentando la superficie de cultivo.

Desde esas claves, procedemos a analizar en los siguientes capítulos qué contribución se viene realizando, y/o podría realizarse, a la producción sostenible de alimentos vegetales mediante procedimientos ecológicos y mediante la utilización de semillas transgénicas.

CAPÍTULO II: LOS ALIMENTOS ECOLÓGICOS

2.1.- Aspectos históricos de la agricultura ecológica

Advertíamos ya en el capítulo anterior que, en cierto modo, toda la agricultura anterior al siglo XX puede considerarse “ecológica” u “orgánica” (según la terminología anglosajona), ya que no se utilizaban otro tipo de fertilizantes que no fuera el estiércol animal, no había plaguicidas de síntesis química, y los agricultores sembraban sus propias semillas o, como mucho, las compartían con otros agricultores geográficamente próximos. No obstante, el concepto de “agricultura ecológica”, como tal, comienza a emplearse en la década de 1960 en torno a una serie de autores que, inicialmente, ponen en cuestión el uso de plaguicidas en la agricultura. El abuso de productos químicos en la agricultura, con la consiguiente contaminación del agua del subsuelo y la presencia de residuos de plaguicidas en los alimentos⁴⁴ contribuyó a que una parte de la población rechazara las prácticas agronómicas de la agricultura que se ha dado en llamar convencional. Para separarse de herramientas y técnicas que se consideran nocivas para el medio ambiente, comienzan a postularse propuestas, principios, métodos, técnicas, y herramientas que quedarían abarcados bajo lo que se ha dado en llamar *agricultura ecológica*.

La Primavera Silenciosa (1962) de Rachel Carson, científica del Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos, está considerado por muchos autores como el libro más influyente de la segunda mitad del siglo XX en el que describió los efectos negativos de los plaguicidas en la naturaleza, incluidos los seres humanos. Gracias al prestigio de su autora por sus libros sobre el mar⁴⁵, *La Primavera Silenciosa* tuvo una importante influencia en los altos niveles del gobierno de Estados Unidos quienes empezaron a prestar atención a la idea de que los procesos ecológicos son importantes para la vida en todas sus manifestaciones⁴⁶ y resultó en la creación de la Agencia de Protección del Medio Ambiente (*Environmental Protection Agency*) en 1970 y en la prohibición del uso agrícola del DDT en 1973⁴⁷. El mensaje que sus lectores recogieron fue que la industrialización y tecnificación de la sociedad, y los productos químicos eran nocivos para el mundo natural.

Hoy día sigue estando muy extendida la idea de que lo “natural”, lo que se encuentra en la naturaleza, es inofensivo, inocuo, o incluso beneficioso, tanto para la salud como para el medio ambiente, mientras que lo artificial, o sintético, es malo y nocivo. Esto es totalmente erróneo: abundan los ejemplos de compuesto naturales, producidos por plantas, animales y microorganismos, que son tóxicos⁴⁸, y los ejemplos de compuestos sintéticos que nos ayudan a preservar nuestros alimentos, entre otras cosas. El efecto que la vitamina C (ácido ascórbico) tiene en el organismo depende de su estructura química, y no de que sea sintética y proceda, por ejemplo, de frutas y verduras.

En la década de 1970 varios estados norteamericanos aprobaron las primeras leyes regulando la agricultura ecológica.

2.1.1.- Tipos de agricultura

Existen muchas clasificaciones de las prácticas agrícolas dependiendo del uso de los insumos, del laboreo, de la extensión de la explotación, etc. Desde el punto de vista de este trabajo definiremos los siguientes términos tomados del glosario de la Universidad de California en Davis⁴⁹:

- Agricultura ecológica: se caracteriza fundamentalmente por la no utilización de productos químicos de síntesis (como plaguicidas) o de fertilizantes solubles, usando estiércol y plaguicidas naturales. El etiquetado de alimentos y productos alimenticios ecológicos está regulado por ley en Europa⁵⁰, y por las normas del National Organic Program del Departamento de Agricultura en Estados Unidos⁵¹.
- Agricultura convencional: sistema de agricultura industrializada, caracterizada por la mecanización, monocultivos, y el uso de insumos tales como fertilizantes y plaguicidas con énfasis en la productividad y la rentabilidad.
- Agricultura de conservación: se caracteriza por mínimo laboreo, manteniendo al menos el 30% de los residuos de la cosecha anterior para minimizar la erosión del suelo y mantener la materia orgánica⁵².

Por lo que respecta a la utilización de plaguicidas de síntesis y fertilizantes, la agricultura ecológica y la convencional (según esta definición) son extremos de un continuo de prácticas agrícolas que, en definitiva, dependen del tamaño de la explotación, de las condiciones locales, del tipo de cultivo, etc. Dicho en otras palabras, existen prácticas agrícolas "convencionales" que utilizan la rotación de cultivos; el estiércol y compost como fertilizantes; el control integrado de plagas; plaguicidas, y fertilizantes solubles cuando son necesarios; prácticas de no laboreo, o de bajo laboreo, etc. De igual manera, algunas prácticas agrícolas son difíciles de diferenciar de las ecológicas porque comparten métodos y tecnologías, pero no cumplen todas las normas legales establecidas para poder etiquetar sus productos como ecológicos. Para evitar confusiones entre estas otras prácticas agrícolas 'de baja intensidad' y la agricultura ecológica certificada, al hablar de la agricultura ecológica en este trabajo sólo consideraremos los trabajos y publicaciones que se refieran a productos con etiqueta ecológica.

2.2.- Características de la Agricultura Ecológica

La agricultura ecológica es una manera de producir alimentos en principio menos agresiva con el medio ambiente que la agricultura convencional intensiva, buscando un equilibrio entre producción de alimentos y protección de la naturaleza. Esto implica un

cambio profundo en las prácticas agronómicas, reduciéndose considerablemente el uso de la energía y de los recursos, tanto en la producción de los insumos necesarios (como fertilizantes), como en la mecanización del campo⁵³.

La agricultura ecológica emplea métodos de producción que mejoran la estabilidad de los ecosistemas del suelo, optimizando el reciclaje de nutrientes y la producción diversa.

Además de estos aspectos directamente relacionados con el respeto al medio ambiente y énfasis en minimizar el daño que se le pudiera causar en la producción de alimentos, para muchas personas y colectividades, la agricultura ecológica va más allá de estos aspectos medioambientales, insistiendo en el fomento de la producción de alimentos locales adaptados al entorno socioeconómico y ambiental. Resalta la relación entre las personas y los recursos de producción de alimentos, y busca reducir los costes y aumentar la viabilidad económica de pequeños y medianos agricultores. Esta dimensión, sin embargo, se refiere a la sostenibilidad de la agricultura en un sentido ciertamente amplio, y en el que también se considera el bienestar de las generaciones presentes y futuras, pudiéndosele considerar como una filosofía de vida⁵⁴ más que como una forma de producir alimentos exclusivamente. La figura 4 resume los diferentes aspectos de la agricultura ecológica en sentido amplio.

Figura 4.- Objetivos de la agroecología.



Tomado de J Briz (coordinador). 2004. *Agricultura ecológica y alimentación*. Fundación Alfonso Martín Escudero, pg. 19.

El texto del 1^{er} considerando del Reglamento europeo sobre producción orgánica y etiquetado de los productos orgánicos⁵⁵ también induce a pensar que la agricultura ecológica es algo más que una forma de producir alimentos:

“La producción ecológica es un sistema general de gestión agrícola y producción de alimentos que combina las mejores prácticas ambientales, un elevado nivel de biodiversidad, la preservación de recursos naturales, la aplicación de normas exigentes sobre bienestar animal y una producción conforme a las preferencias de determinados consumidores por productos obtenidos a partir de sustancias y procesos naturales. Así pues, los métodos de producción ecológicos desempeñan un papel social doble, aportando, por un lado, productos ecológicos a un mercado específico que responde a la demanda de los consumidores y, por otro, bienes públicos que contribuyen a la protección del medio ambiente, al bienestar animal y al desarrollo rural.”

Este texto claramente dice que la producción ecológica está dirigida a *determinados consumidores* que prefieren productos obtenidos por procesos naturales. Rompe con la idea, por tanto, de un consumidor medio europeo representativo del conjunto de ciudadanos de la Unión (la idea de que todos somos consumidores) para quien se legisla y cuya salud se quiere proteger.

El hecho de que este reglamento proteja la forma de producir alimentos que prefieren algunos consumidores, a partir de sustancias y procesos naturales, inmediatamente nos sugiere al menos dos ideas:

- 1) Que se considera a este grupo de consumidores de alguna manera 'superior' a los demás, por lo que se le dispensa un trato especial, protegiéndose su forma preferida de producción de alimentos; y
 - 2) que el resto de los alimentos producidos de otra manera son de calidad inferior.
- En cualquier caso, consideramos que no es muy equitativo.

2.2.1.- Control de plagas y malezas

Teniendo en cuenta lo expuesto más arriba, nos limitaremos a los procedimientos aprobados en el Reglamento europeo mencionado.

Una "mala hierba" es aquella que crece en un lugar, o en un momento, en el que interfiere con los intereses concretos y específicos del ser humano. Es, pues, un concepto antropológico y no biológico. Desde el punto de visto agrícola, unas 250 especies son consideradas como "malas hierbas", siempre que crezcan en lugares en los que compiten con los cultivos agrícolas por los nutrientes y el agua del suelo.

Según R. Labrada Romero, experto en malezas de la FAO, las malas hierbas, malezas, o flora arvense, para el agricultor son el enemigo natural principal⁵⁶, provo-

cando pérdidas de unos 95.000 millones de dólares en la producción de alimentos mundial. Estas pérdidas son equivalentes a 380 millones de toneladas de trigo, la mitad de la producción mundial prevista para 2009. Las pérdidas globales debidas a patógenos e insectos se calculan, respectivamente, en unos 85.000 y 46.000 millones de dólares.

Como esta flora arvense puede servir también de refugio a organismos que afectan a los cultivos, la mejora de la productividad pasa, por tanto, por mejorar la gestión de las malas hierbas. Por tanto, el objetivo central del manejo de malezas es manipular la relación cultivo/maleza favoreciendo el crecimiento del cultivo. La agricultura ecológica rechaza la utilización de plaguicidas (insecticidas y herbicidas) de síntesis química por lo que utiliza diferentes estrategias⁵⁷:

- Métodos preventivos: calidad de los materiales utilizados (semillas certificadas, compost y sustratos), mejora del drenaje,...
- Métodos culturales: rotación de cultivos, combinación de cultivos, cultivos de cobertura, fechas de siembra, control de fertilización, densidad de siembra, el barbecho, y la utilización de rastrojos del año anterior.
- Métodos biológicos: utilización de insectos y hongos.
- Físicos: eliminación manual, laboreo del campo (ligero, sin volteo), termización.
- Químicos: utilización de preparados a base de productos minerales para modificar el pH del suelo.

El control de malezas puede ser muy específico dependiendo del cultivo concreto, de la climatología, de las características del suelo, y de las especies de flora arvense presentes en cada zona. Algunas de estas técnicas se compaginan también con otras más específicas para el control de plagas.

La rotación de cultivos y la práctica del barbecho reducen el agotamiento del suelo, favorecen la descomposición de residuos orgánicos y mejoran la fertilidad de la tierra.

Para controlar las plagas de insectos y enfermedades, además de los métodos culturales ya mencionados, la agricultura ecológica utiliza también diversos procedimientos (Anexo II del Reglamento europeo citado):

- Compuestos químicos orgánicos de origen vegetal o animal: azadiractina, rotenona, piretrinas, los piretroides deltametrina y lambdacihalotrina (sólo en trampas), feromonas (sólo en trampas), extractos de cuasia y de aceites vegetales.
- Microorganismos: la bacteria *Bacillus thuringiensis* se utiliza en formulaciones fumigables desde mediados del siglo XX.
- Productos microbianos: el espinosad es una mezcla de compuestos químicos producidos por el actinomiceto del suelo *Saccharopolyspora spinosa*.
- Compuestos inorgánicos: diversas sales minerales incluyendo compuestos de cobre, permanganato potásico, sulfato de aluminio y potasio, azufre, sales de potasio con ácidos grasos.

Casi todos estos productos, obtenidos de plantas y microorganismos, y algunos compuestos inorgánicos, son potentes tóxicos para muchas especies animales y/o vegetales, que se emplean también en otras aplicaciones distintas de la agricultura ecológica. Por ejemplo, el espinosad es muy tóxico para las abejas, y la rotenona se emplea como raticida. El cobre en exceso está relacionado con enfermedades neurodegenerativas como la enfermedad de Alzheimer⁵⁸.

2.2.2.- Fertilidad del suelo

El suelo, además de ser el sustrato en el que se desarrolla la raíz y el soporte de la planta, es un complejo sistema en el que los organismos (animales, vegetales y microorganismos) presentes interaccionan con el soporte físico y químico en el que viven. Es un medio de composición mixta, orgánica y mineral, con capacidad para retener una cierta cantidad de agua, influido por la actividad metabólica de los organismos presentes. El suelo proporciona nutrientes y agua al cultivo en crecimiento, por lo que dependiendo de sus diferentes componentes, el suelo será más o menos apto para el crecimiento de determinados cultivos y será necesario acondicionarlo.

Independientemente del tamaño de la explotación, el manejo del suelo constituye la base productiva y la garantía de la continuidad de la explotación. La mecanización del suelo no debe alcanzar sus capas más profundas para favorecer la conservación del agua y el aire.

La fertilización devuelve al suelo los nutrientes extraídos con cada cosecha, siendo la materia orgánica la base de los fertilizantes utilizados. Esta materia orgánica proviene del reciclado de diversos productos que deben ser compostados antes de su utilización.

En líneas generales, el manejo de la fertilidad del suelo en la agricultura ecológica se basa en tres vías complementarias⁵⁹:

- Potenciación de la biodiversidad del suelo.
- Incremento de la disponibilidad de nutrientes.
- Disminución de la degradación del suelo por pérdida directa, por contaminación o por eliminación de su biodiversidad.

El Reglamento europeo citado prohíbe expresamente el uso de fertilizantes de alta solubilidad. Por tanto, la agricultura ecológica utiliza otros productos para devolver al suelo el nitrógeno que requieren los cultivos. Se detallan en el Anexo I del mismo incluyendo, entre otros:

- Estiércol animal (de explotaciones ganaderas ecológicas, y en cantidades inferiores a 170kg/ha anuales, dependiendo de la cantidad de nitrógeno del suelo).

- Excrementos líquidos de animales.
- Mantillo de excrementos sólidos como gallinaza.
- Residuos domésticos (vegetales y/o animales) compostados o fermentados.
- Subproductos de origen animal: harina de sangre, pescado, carne, pluma; polvo de pezuña, cuerno, hueso; productos lácteos; aglomerados de pelos y piel; lana.
- Subproductos de origen vegetal: tortas de oleaginosas y residuos de bodegas.
- Algas y productos de algas.
- Diversos compuestos inorgánicos y sales minerales (mencionadas más arriba).

Además de estos productos específicos, se utilizan también los llamados "abonos verdes" que son cultivos de leguminosas que se mezclan con el suelo para aportar materia orgánica, nutrientes y nitrógeno. Para ello, cada 2-3 años se cultivan estas leguminosas, o se deja el campo en barbecho, introduciéndose después los residuos mecánicamente en el suelo.

Tanto en la agricultura ecológica como en la convencional, hay una gran variedad de factores interrelacionados que el agricultor debe en todo momento tener en cuenta a la hora de gestionar su explotación, tales como, la posición geográfica y el tamaño de la parcela, la cantidad de lluvia, el viento, las temperaturas en diferentes momentos, el tipo de suelo y su calidad, el cultivo, presencia y tipo de plagas, malezas y enfermedades, su formación y, en definitiva, su experiencia práctica, entre otras muchas. La cantidad y el tipo de productos químicos de síntesis que tendrá que utilizar el agricultor puede variar mucho a lo largo de la temporada, y de una temporada a otra⁶⁰.

Debido a la baja mecanización y a la no utilización de productos químicos de síntesis, cuando se contabilizan estos aspectos en el cálculo de la productividad por unidad de energía consumida, el coste energético de la agricultura ecológica es significativamente menor que el de los sistemas convencionales⁶¹. Las prácticas culturales favorecen la fertilidad del suelo e incrementan su capacidad de retención de agua. Consideramos que todos estos son los aspectos medioambientales positivos más notables de la agricultura ecológica.

2.2.3.- Otros aspectos

Hemos mencionado que la agricultura ecológica presta atención a cuestiones socioeconómicas conducentes al desarrollo rural de las comunidades agrícolas y potenciando las relaciones, preferiblemente directas, entre los recursos de producción de alimentos y los consumidores. Sin embargo, en los países más desarrollados, el auge reciente de los alimentos ecológicos, particularmente de los alimentos ecológicos procesados, ha atraído a multinacionales que contratan la producción de alimentos y materias primas ecológicas, los transforman en alimentos procesados ecológicos, los envasan y abastecen a grandes supermercados⁶² (véase la Tabla 2).

Tabla 2.- Empresas de productos ecológicos adquiridas por grandes multinacionales en Estados Unidos y Canadá.

Multinacionales	Empresas de productos ecológicos
Colgate-Palmolive, Inc.	Tom's of Maine - productos de cuidado personal naturales.
Kraft Foods, Inc. (del grupo Altria, propietarios también de Phillip Morris, Inc).	Back to Nature - cereales ecológicos.
Coca-Cola.	Odwalla, Inc. - zumos y barritas nutritivas ecológicas.
Loblaw Companies, Ltd. (supermercados Superstores, Canada).	Su propia línea President's Choice Organics con más de 300 productos.
Dean Foods (principal empresa láctea de EEUU).	Horizon Organic.
General Mills,	Small Planet Foods (dueña de Cascadian Farm: fruta y verduras congeladas, barritas energéticas).
Kellogg's.	Kashi Cereal, y Morningstar Farms.
Wal-Mart, uno de los principales distribuidores de alimentos de EEUU.	planes para convertirse en el principal proveedor de alimentos ecológicos.

Adaptada de Ronald y Adamchack, 2008. Obra citada.

En los últimos años, muchos alimentos ecológicos certificados se cultivan en África debido a que como en ese continente la agricultura ha utilizado muy pocos productos químicos de síntesis por la pobreza de sus agricultores, es relativamente sencillo convertir su agricultura tradicional en ecológica. Sin embargo, casi toda la producción ecológica certificada se exporta, principalmente a Europa. Con frecuencia, cultivos

como aguacate, coco, café, té, fruta y verduras se cultivan en grandes granjas especializadas, certificadas ecológicas, situadas en la proximidad de los aeropuertos⁶³.

La distribución de productos ecológicos a grandes distancias por avión, principalmente provenientes de países en desarrollo, se ha considerado contraria a la filosofía de la agricultura ecológica expuesta más arriba, hasta el punto de no recibir la etiqueta ecológica. La razón era que además de alejar la producción de los consumidores, debe utilizar embalajes plastificados de dudoso reciclado y contribuye excesivamente al aumento de las emisiones de dióxido de carbono. A pesar de que se siguen utilizando en el transporte y en su comercialización, la Asociación del Suelo británica, que regula la producción de alimentos ecológicos en el Reino Unido, en enero de 2009 decidió que los alimentos ecológicos importados por avión desde grandes distancias sí podían llevar la etiqueta ecológica puesto que se priorizaba su contribución a la mejora de las condiciones de vida de los agricultores de países en desarrollo⁶⁴. Pero, parece ser que la población rural pobre se beneficia muy poco de estos cultivos ecológicos⁶⁵.

Esta industrialización de la agricultura y de los alimentos ecológicos, aunque respetara las normas de producción legales, terminaría por destruir, o al menos reduciría significativamente, esa proximidad entre los productores y los consumidores, como ya ha ocurrido en muy buena medida con la agricultura convencional intensiva.

2.3.- La regulación jurídica de la agricultura ecológica

El impacto de la legislación sobre el concepto de agricultura ecológica ha sido y es muy significativo. Con la intención de ofrecer al consumidor una garantía de lo que significa la etiqueta de “ecológico” las normas de algunos países han procedido a establecer aquellos criterios conforme a los cuáles puede, o no, considerarse que un producto merece dicha etiqueta.

En definitiva, la norma dice qué productos pueden etiquetarse como ecológicos y cuáles no. De los tres criterios que en el primer capítulo señalábamos como “pilares” sobre los cuáles argumentar la sostenibilidad de la producción de alimentos, veremos que sólo algunos aspectos del tercero (disminución del impacto ambiental) se consideran determinantes para el etiquetado, o certificación, de los productos ecológicos.

La práctica de la agricultura ecológica está regulada en Europa por el Reglamento 834/2007, ya mencionado, y por el Reglamento 889/2008⁶⁶ por el que se establecen disposiciones de aplicación del anterior. En este segundo documento se especifica cómo se deben cultivar alimentos ecológicos vegetales y cómo se deben producir alimentos ecológicos de origen animal. Estos dos documentos recogen las condiciones en las se puede conceder a un cultivo, o alimento vegetal o animal, el derecho a emplear expresiones como “ecológico”, “orgánico” o “bio” en su etiquetado y publicidad. Es, pues, un reglamento que regula únicamente los métodos de producción y cómo se debe controlar, pero

no la calidad del producto obtenido. Aunque en el artículo 3 (del Reglamento 834/2007), en el que recoge los objetivos y principios de la agricultura ecológica, se indica específicamente "obtener productos de alta calidad", en ningún lugar de este reglamento se define lo que se entiende por calidad.

Esencialmente, para poder etiquetar un alimento como ecológico se deben seguir las pautas que hemos dado en la sección anterior, sobre todo en lo que se refiere al control de malezas y plagas, y al mantenimiento de la fertilidad del suelo, pudiendo utilizarse únicamente aquellos productos, o microorganismos, que aparecen específicamente citados en los Anexos I y II. Están totalmente prohibidos los plaguicidas de síntesis química y los fertilizantes nitrogenados solubles. Esta forma de proceder zanja, sin embargo, el debate inicial puesto que elimina los componentes socio-culturales y económicos, limitándose a los aspectos medioambientales.

Según recoge el art. 3 del Reglamento 834/2007:

"La producción ecológica perseguirá los siguientes objetivos generales:

a) asegurar un sistema viable de gestión agrario que:

- 1) respete los sistemas y los ciclos naturales y preserve y mejore la salud del suelo, el agua, las plantas y los animales y el equilibrio entre ellos;*
- 2) contribuya a alcanzar un alto grado de biodiversidad;*
- 3) haga un uso responsable de la energía y de los recursos naturales como el agua, el suelo, las materias orgánicas y el aire;*
- 4) cumpla rigurosas normas de bienestar animal y responda a las necesidades de comportamiento propias de cada especie;*

b) obtener productos de alta calidad;

c) obtener una amplia variedad de alimentos y otros productos agrícolas que respondan a la demanda de los consumidores de productos obtenidos mediante procesos que no dañen el medio ambiente, la salud humana, la salud y el bienestar de los animales ni la salud de las plantas".

En ningún sitio del Reglamento 834/2007 se sugiere que los alimentos producidos según sus especificaciones tengan una mayor calidad nutricional o sensorial que los producidos mediante otros métodos, ya sean convencionales o transgénicos. Los términos que se deben incluir en el etiquetado se refieren exclusivamente a los métodos de producción (art. 23). Sin embargo, el Reglamento europeo anterior sobre la producción de alimentos ecológicos, derogado el 1 de enero de 2009, recogía explícitamente en el artículo 10.2 que "no podrá figurar en el etiquetado ni en la publicidad ninguna mención que sugiera al comprador que la indicación contemplada en el Anexo V [de que los productos han sido sometidos al régimen de control] constituye una garantía de calidad organoléptica, nutritiva o sanitaria superior"⁶⁷.

En el caso de un alimento procesado, el 95% de sus ingredientes (al peso) debe ser ecológico para poder indicar esa característica en la etiqueta, aceptándose, por tanto, un 5% de ingredientes no ecológicos.

Hasta donde llega nuestro conocimiento científico, no es posible distinguir un alimento ecológico de un alimento no ecológico (siempre que no sea transgénico) mediante técnicas analíticas, ya que no existen "compuestos marcadores" cuya presencia esté unívocamente asociada a la producción ecológica. Por tanto, la trazabilidad de un alimento, o ingrediente, ecológico está enteramente soportada en papel: en documentos que el agricultor (o ganadero) debe proporcionar a las entidades controladoras autorizadas que certifican que dicho alimento, o ingrediente, ha sido producido mediante procedimientos autorizados. Y por tanto, pueda utilizar la etiqueta de ecológico.

La etiqueta "ecológica", por tanto, sólo nos certifica que el alimento en cuestión "ha sido producido según las normas establecidas en el presente Reglamento".

En Estados Unidos la agricultura ecológica (u orgánica) está regulada por el *Organic Food Production Act* a partir del título 21 de la Ley de Granja (*Farm Bill*) de 1990⁶⁸ que establece las normas nacionales para la producción de alimentos certificados con etiqueta ecológica. Por ella el Departamento de Agricultura estableció el Programa Nacional Orgánico (*National Organic Program*). De la misma manera que la legislación europea, la legislación estadounidense certifica que los alimentos han sido producidos siguiendo unas determinadas prácticas agronómicas, y evitando el uso de los productos fitosanitarios prohibidos. Elimina también el componente socio-económico y cultural de la filosofía de la agricultura ecológica.

2.4.- Productividad y precio: el talón de Aquiles de la agricultura ecológica

En el Capítulo I de este trabajo hemos propuesto tres pilares de la producción sostenible, refiriéndose el primero a la accesibilidad de los alimentos para las personas, en cantidad y en calidad (nutricional y sensorial). Para que todos los seres humanos puedan disponer de suficiente cantidad de alimentos, la productividad de los cultivos se debe aumentar. Así lo reconoció el año pasado el Director de la FAO, Jacques Diouf, a propósito del aumento de precios de los alimentos⁶⁹, y en mayo de 2009 el Director del Departamento de Producción y Protección Vegetal⁷⁰ refiriéndose a la necesidad de doblar la producción de alimentos para 2050: "el mundo no tiene otra alternativa que la de intensificar la producción agrícola sostenible".

La productividad de la agricultura ecológica en comparación con la de la convencional es un punto muy controvertido y no tiene una respuesta fácil porque depende mucho del cultivo estudiado, el lugar, el tipo de cultivo utilizado en la rotación, la cantidad de estiércol por ha, y de los cultivos de cubierta para producir "abonos verdes". Debido a la práctica del barbecho y/o al cultivo de los abonos verdes, la productividad

considerada a lo largo de varios años suele ser, en general, moderada, aunque en un año en concreto pueda ser comparable a la de la agricultura convencional. Los resultados de estudios comparativos pueden ser muy diversos ya que es muy difícil asegurarse de que todos los factores más importantes son comparables. Así, Liebhardt da productividades entre el 94 y el 97% de las convencionales para maíz, soja y trigo durante la década de 1990⁷¹. Sin embargo, otros investigadores de la granja experimental de la Universidad de California en Davis (EEUU) obtuvieron una productividad media para el maíz ecológico del 66% de la del maíz convencional durante un periodo de 9 años⁷².

Recientemente, Badgley y colaboradores⁷³ han realizado un extenso análisis de 293 casos en los que se comparan los rendimientos de diversos cultivos utilizando métodos de producción ecológica y convencional. Llegan a la conclusión de que la proporción de productividad media (ecológico:convencional) es ligeramente inferior a 1.0 en los estudios realizados en países desarrollados y superior a 1.0 en países en desarrollo. Según sus resultados, proponen un modelo de producción de alimentos utilizando métodos de producción ecológica que proporcionaría suficiente alimento para sostener la población mundial actual sin aumentar el terreno actualmente cultivado. Aunque los resultados de este análisis parece prometedores, en nuestra opinión el estudio adolece de los siguientes errores metodológicos que consideramos lo suficientemente importantes como para invalidarlo.

En primer lugar, los autores indican que han incluido en su estudio resultados de cultivos diversos: certificados como ecológicos, y de otros tipos de producción no-intensiva, o de baja intensidad. Según describen en la introducción del artículo, consideran cultivos "ecológicos" aquellos que utilizan cultivos de cubierta, estiércol, compost, rotación de cultivos, y control biológico de plagas, incluyendo bajo uso de plaguicidas sintéticos y fertilizantes solubles, sin tener en cuenta si son cultivos ecológicos "certificados" o no. Como ya hemos expuesto más arriba, estas prácticas agronómicas se utilizan en muchos cultivos convencionales, no necesariamente ecológicos, juntamente con cantidades variables de productos químicos fitosanitarios.

En segundo lugar, como los mismos autores explican en la sección metodológica del artículo, en sus cálculos no han incluido las pérdidas pre-cosecha, argumentando que no son necesariamente mayores en los cultivos ecológicos que en los convencionales, ya que los primeros disponen de una variedad de métodos para el control de plagas. Consideramos que, en cualquier caso, las pérdidas pre-cosecha son un aspecto muy importante que afecta directamente a la productividad y a la rentabilidad económica del cultivo, y que puede ser decisivo para que el agricultor decida utilizar unas u otras prácticas de cultivo. Finalmente, como señalan Goulding y Trewavas⁷⁴, un elevado porcentaje de sus datos sobre explotaciones ecológicas se refieren a datos experimentales de estudios realizados en centros de investigación, no a explotaciones comerciales. La forma correcta de hacer estas comparaciones sería utilizar los datos de producción de muchas explotaciones comerciales, de áreas del país muy diferentes, y durante varios

años, ya que la productividad puede variar hasta 4 veces en dos años consecutivos⁷⁵. Goulding y Trewavas proporcionan un número de datos comparable al de Badgley y cols. en los que la proporción de productividad media (ecológico:convencional) es 0.6 – 0.7 para el trigo.

En un estudio comparativo de explotaciones ecológicas y convencionales a lo largo de 21 años, Mäder y colaboradores⁷⁶ encontraron que la productividad media de los sistemas ecológicos fue 20% inferior a la de los cultivos convencionales, debido a que el aporte de nitrógeno, fósforo y potasio en los sistemas ecológicos era entre el 34 y el 51% menor que en los sistemas convencionales. La productividad media de las patatas ecológicas se redujo hasta entre 58 y 66% de la correspondiente a las patatas convencionales a causa del bajo aporte de potasio y la incidencia de la plaga *Phytophthora infestans*.

Una de las principales razones por la que la productividad de la agricultura ecológica es, en general, inferior a la de la agricultura convencional es por la prohibición de utilizar fertilizantes solubles. Para añadir el nitrógeno necesario al suelo, además de estiércol, se cultivan leguminosas durante un año para utilizarlas como "abono verde" en los siguientes dos años⁷⁷. En ese tiempo, la tierra está fuera de la producción comercial, por lo que el rendimiento baja. Por esta razón, aunque en un año concreto los rendimientos sean comparables, cuando se considera un periodo de varios años consecutivos, el rendimiento de la agricultura orgánica puede llegar a ser hasta 20-30% inferior. Aunque este menor rendimiento sea tolerable en países ricos, es una práctica que los agricultores de países en desarrollo no se pueden permitir⁷⁸.

Como explica Trewavas (artículo citado), la necesidad de nitrógeno de un cultivo no es la misma durante todas las fases de su desarrollo. En general la mayor necesidad de nitrógeno ocurre durante la producción y desarrollo de las hojas cuyas reservas vegetativas son decisivas para la formación de las semillas. La producción de semillas es óptima cuando se sincroniza el aporte de nitrógeno con las necesidades del cultivo durante la formación de las hojas. En este momento se necesita proporcionar a la planta una elevada cantidad de nitrógeno en forma de fertilizante soluble. Sin embargo, los abonos utilizados por la agricultura ecológica (el estiércol, los abonos verdes que consisten en leguminosas que se entierran al arar, y minerales de baja solubilidad) liberan el nitrógeno necesario de forma constante a lo largo de toda la temporada. De esta manera, en los momentos de mayor necesidad, la planta dispone de una limitada cantidad de nitrógeno. Una posibilidad sería aumentar la cantidad de estiércol, o de fertilizante mineral, que se aplicaría para cubrir las necesidades de esos momentos concretos. Sin embargo, como el nitrógeno del estiércol se libera de manera constante, cantidades elevadas de nitrógeno se perderían con el agua durante toda la temporada, limitando los beneficios de este tipo de fertilizantes.

Otra razón por la que la productividad de la agricultura ecológica es menor que la de la convencional es la no utilización de herbicidas químicos. El crecimiento

incontrolado de las malas hierbas en los campos cultivados es, después de las limitaciones ambientales, la causa principal de la disminución de productividad de los cultivos. Las pérdidas de cosecha se sitúan entre el 15, y el 90% en casos muy extremos⁷⁹. Mientras la agricultura convencional utiliza preferentemente herbicidas químicos, la agricultura ecológica utiliza técnicas de rotación de cultivos, cubiertas vegetales, intervenciones mecánicas (escarda, eliminación manual, laboreo), solarización (para reducir la viabilidad de la germinación de semillas) para reducir la cantidad de especies no deseadas.

Refiriéndose a la menor productividad de la agricultura ecológica, el Director de la FAO declaraba, el pasado 12 de octubre de 2009, en la inauguración del Foro de Alto Nivel sobre el futuro de la alimentación que "a pesar de que la agricultura ecológica contribuye a la reducción del hambre y la pobreza y debe ser promovida, no puede por sí sola alimentar a una población que crece rápidamente sin un uso juicioso de fertilizantes químicos"⁸⁰. En su opinión, "la agricultura no tendrá más alternativa que ser más productiva", señalando que "los incrementos deberán obtenerse en su mayoría del aumento de los rendimientos, en vez del aumento de las tierras cultivables".

2.5.- Rechazo a los cultivos transgénicos en la agricultura ecológica

En 1996 se produjo a nivel mundial la primera siembra significativa de transgénicos con fines comerciales. Según el Reglamento 834/2007 sobre producción ecológica ya citado, se consideran alimentos transgénicos los que son o contienen organismos modificados genéticamente (OMG), así como los que, *sin contener OMG, han sido producidos a partir de éstos*. Por organismo transgénico, además, entendemos aquel al que se le han introducido uno o más genes de otra especie diferente, o se le han modificado uno o más de sus propios genes, mediante técnicas de ingeniería genética en el laboratorio. Ese momento de la introducción de los cultivos transgénicos en 1996, es también la fecha en la que la agricultura ecológica rechazó frontalmente la utilización de semillas de estos cultivos.

En buena medida, la definición de agricultura ecológica que ofrecen las normas, especialmente en Europa, ha sido la clave de esa oposición. Expresamente el Reglamento europeo sobre agricultura ecológica, en su 9º Considerando, establece en estos términos una prohibición del uso de OMGs en la agricultura orgánica:

En la producción ecológica no podrán utilizarse OMG ni productos obtenidos a partir de o mediante OMG como alimentos, piensos, coadyuvantes tecnológicos, productos fitosanitarios, abonos, acondicionadores del suelo, semillas, material de reproducción vegetativa, microorganismos ni animales.

Como posible explicación a este respecto, afirma en el mismo considerando que

"los OMG y los productos producidos a partir de, o mediante, OMG son incompatibles con el concepto de producción ecológica y la percepción del consumidor de los productos ecológicos, no deben, por tanto, utilizarse en la agricultura ecológica ni en el procesamiento de productos ecológicos".

La única razón, a todas luces subjetiva, que se esgrime de esta supuesta incompatibilidad es que en la percepción que el consumidor tiene de lo ecológico no encajan los transgénicos. De hecho, como ya hemos resaltado más arriba, los productos ecológicos se producen conforme "a las preferencias de determinados consumidores", lo que nos induce a pensar que el legislador comunitario sólo tiene en cuenta un colectivo muy concreto de consumidores cuyas características no especifica.

Es difícil hallar un respaldo científico para este rechazo frontal a la utilización de semillas transgénicas en la agricultura ecológica. Pensamos que esta actitud se debe a la idea, falsa pero cada vez más extendida en la sociedad, de que los productos de la agricultura ecológica son *naturales*, mientras que los cultivos transgénicos son producto de una extensa manipulación en el laboratorio. La desafortunada política que las instituciones europeas y algunos gobiernos regionales han tenido hacia los transgénicos, creando normas favorables a ellos pero obstaculizándolos de facto, tampoco ha sido de gran ayuda⁸¹.

Consideramos importante resaltar el párrafo 3 del artículo 23 del Reglamento europeo vigente para la producción de alimentos ecológicos (el subrayado es nuestro):

Los términos a que se refiere el apartado 1 no podrán aplicarse a productos en cuyo etiquetado o publicidad deba indicarse que el producto en cuestión contiene OMG [componentes transgénicos], está compuesto de OMG o se produce a partir de OMG conforme a las disposiciones comunitarias.

Entendemos que este párrafo indica que sí se podrá etiquetar como ecológico un alimento, sin procesar o procesado, que contenga un componente transgénico en cantidad inferior al 0.9%. Esto es debido a que la normativa relativa al etiquetado de los alimentos transgénicos (Reglamento 1829/2003)⁸² exime de etiquetar como tales a los productos en los que la presencia accidental de OMGs sea inferior al umbral del 0.9%. Dicho de otro modo, la legislación europea acepta que productos convencionales y ecológicos, con la presencia de OMGs en un porcentaje inferior a ese umbral no lleven etiquetado de alimentos transgénicos. O lo que es lo mismo, estos productos que contengan una cantidad de transgénico inferior al 0.9% no pierden por ello la etiqueta de "ecológico".

Artículo 12 del Reglamento (CE) nº 1829/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de septiembre de 2003, sobre alimentos y piensos modificados genéticamente. Ámbito de aplicación de las disposiciones de etiquetado:

- 1.- *La presente sección se aplicará a los alimentos que vayan a suministrarse como tales al consumidor final o las colectividades de la Comunidad y que:*
 - a) *contengan o estén compuestos por OMG, o*
 - b) *se hayan producido a partir de OMG o contengan ingredientes producidos a partir de estos organismos.*
- 2.- *La presente sección no se aplicará a los alimentos que contengan material que, a su vez, contenga o esté compuesto por OMG o haya sido producido a partir de estos organismos, siempre que el contenido de dicho material no supere el 0.9 % de los ingredientes del alimento considerados individualmente o de los alimentos consistentes en un solo ingrediente, y a condición de que esta presencia sea accidental o técnicamente inevitable..*

Sin embargo, aunque se mantiene el derecho a etiquetar como ecológico en estas circunstancias, muchos consumidores rechazan productos ecológicos que no cumplan con la exigencia -sin base legal- de "0 transgénicos", o "libre de transgénicos".

A diferencia de lo que hemos señalado anteriormente sobre la imposibilidad de confirmar mediante técnicas analíticas que un alimento, o ingrediente, es ecológico, sí se puede detectar la presencia de componentes transgénicos en cualquier alimento, aunque estén presentes en cantidades muy, muy pequeñas. La técnica conocida como "reacción en cadena de la polimerasa"⁸³, popularmente conocida por "PCR" por sus siglas en inglés, es la técnica básica de los protocolos oficiales establecidos para detectar y cuantificar cada una de las modificaciones génicas introducidas por ingeniería genética autorizadas en Europa y otros países⁸⁴. Las entidades solicitantes de autorización para comercializar cultivos y alimentos transgénicos, o cultivar sus semillas, deben proporcionar los métodos necesarios para su identificación en alimentos procesados, o en mezclas de semillas. La página web del *Centro Conjunto de Investigación (Joint Research Center)* de la Comisión Europea (<http://mbg.jrc.ec.europa.eu/>) proporciona a las personas interesadas toda la información necesaria sobre su detección.

Apoyándose en esta facilidad de detección, muchos consumidores pueden exigir, y exigen, que los alimentos y productos ecológicos estén totalmente libres de componentes transgénicos, aunque estos hayan sido autorizados en Europa después de haber pasado la evaluación de la EFSA desde el punto de vista de la inocuidad para la salud del consumidor y para el medio ambiente. Es decir, a pesar de que son alimentos, o ingredientes, inocuos.

La presencia de componentes transgénicos en alimentos ecológicos puede ocurrir por dos razones principales. En primer lugar, el viento transporta el polen de algunas plantas, como el maíz, y en determinadas circunstancias puede alcanzar las filas externas de un campo ecológico que se encuentre relativamente próximo. En segundo lugar, la realidad de la recolección y almacenamiento de productos agrícolas en general, y de cereales y legumbres en particular, hace que sea extremadamente difícil, si no prácticamente imposible, garantizar siempre una separación completa al 100%.

Hemos indicado que el Reglamento 834/1997 acepta la presencia de un 5% de productos no autorizados, siempre que no sean transgénicos. Así, el Considerando 25º dice:

Sin embargo, se considera conveniente limitar la utilización del logotipo UE a los productos que únicamente, o casi únicamente, contengan ingredientes ecológicos, para no confundir a los consumidores sobre la naturaleza ecológica de todo el producto. Por ello, no deberá autorizarse su utilización en el etiquetado de productos obtenidos durante la fase de conversión o de alimentos procesados en los que menos del 95 % de sus ingredientes de origen agrario sean ecológicos.

La dificultad de separar al 100% los cereales y legumbres ecológicos de los no ecológicos que puedan contener transgénicos queda patente en la normativa de producción de semillas puras. Así, la Orden del Ministerio de Agricultura del 1 de julio de 1986⁸⁵ establece que en la producción de semillas de líneas puras se permite un 1% de otras líneas diferentes, y un 2% en la de semilla híbrida certificada, mientras que en los maíces de fecundación libre la tolerancia es del 5% de plantas fuera de tipo. Por tanto, no parece muy coherente que se acepte hasta un 5% de productos no ecológicos en alimentos, o de semillas de otras líneas, y se limite la presencia accidental e involuntaria de componentes transgénicos al 0.9%, máxime cuando las razones que se ofrecen no son científicas sino subjetivas.

En Estados Unidos, el *Programa Nacional Orgánico*⁸⁶ del Departamento de Agricultura prohíbe el uso de cultivos modificados genéticamente especificando que "para poder etiquetar como ecológico ... excluyendo métodos utilizados para modificar un organismo genéticamente por métodos que no son posibles en condiciones naturales..."⁸⁷. Cita expresamente la fusión celular y la micro- y macroencapsulación, pero no menciona las mutaciones inducidas y otras técnicas que se explican más adelante para introducir modificaciones génicas en un cultivo.

A partir de los comentarios que aparecen en la lista de sustancias que el Programa Nacional Orgánico considera aceptables, deducimos que los productos de la ingeniería genética se consideran "sintéticos". Según la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Orgánica (IFOAM, por sus siglas en inglés), organización que agrupa a asociaciones de agricultura ecológica de todo el mundo, no se aceptan las semillas trans-

génicas debido a su inseguridad⁸⁸, sin ofrecer ninguna prueba de esta posible inseguridad, ni especificar si se refiere a posibles problemas para el consumidor y/o para el medio ambiente. Debido a esta falta de pruebas sobre la pretendida inseguridad, consideramos que el rechazo a la utilización de semillas transgénicas por la agricultura ecológica no tiene base científica.

CAPÍTULO III: LOS ALIMENTOS TRANSGÉNICOS

3.1.- Pinceladas históricas

Una planta transgénica es aquella cuyo genoma ha sido modificado mediante técnicas de ingeniería genética para introducir uno, o varios, genes nuevos, o para modificar alguno de los genes propios de la planta. Como consecuencia de esta modificación, la planta tiene una, o varias, características nuevas⁸⁹.

Las técnicas de biología molecular y de ingeniería genética necesarias para aislar un gen de un organismo e introducirlo en otro se desarrollaron en la década de 1970. No debemos olvidar que un gen es un segmento de ADN capaz de funcionar en cualquier organismo si se prepara adecuadamente⁹⁰.

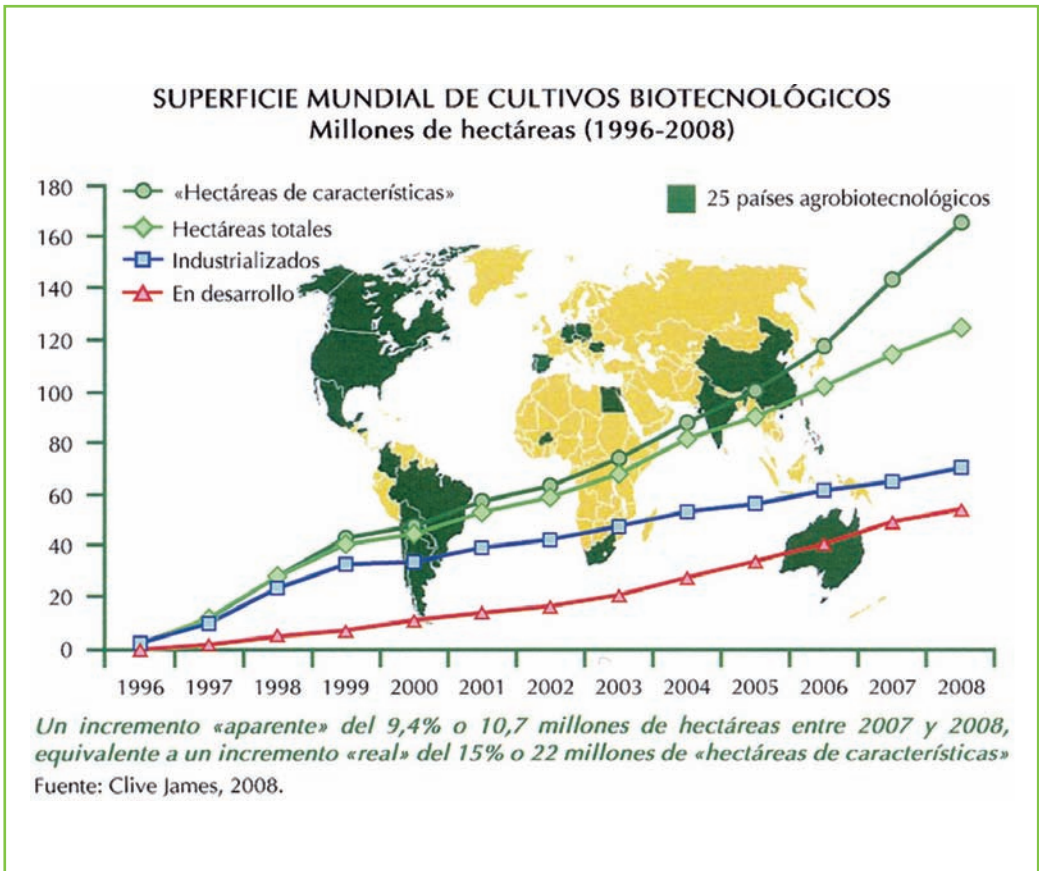
Las primeras transformaciones genéticas de plantas se presentaron el mismo día en el Simposio de Invierno de Miami, en enero de 1983⁹¹ por tres grupos independientes, el belga de Van Montagu y Schell⁹² de la Universidad de Gante, y los estadounidenses de Chilton⁹³ de la Universidad de Washington en Saint Louis (Missouri), y Horsch⁹⁴ de Monsanto. Estos tres grupos de investigadores habían conseguido plantas de tabaco o petunias resistentes a antibióticos, introduciendo en sus células los correspondientes genes bacterianos funcionales. Se acababa de abrir la puerta a la modificación precisa y concreta de los genes de un organismo. Casi inmediatamente la comunidad científica y las empresas productoras de semillas y de productos fitosanitarios se percataron de la importancia que podía tener esta nueva técnica de insertar genes en una planta para mejorar sus características.

Sin embargo, no sería hasta 1996 cuando se comercializaron los primeros cultivos transgénicos. Aquel año se sembraron 1.7 millones de ha⁹⁵ en 6 países, principalmente en Estados Unidos y Canadá. Los primeros cultivos fueron soja tolerante al herbicida glifosato y maíz resistente al insecto denominado "taladro". Desde aquel año el cultivo de variedades transgénicas ha aumentado muy significativamente.

En 2008 se dedicaron más de 125 millones de hectáreas (8.3% de la superficie mundial labrada) a cultivos transgénicos en 25 países⁹⁶ (Figura 5) de los cuales 15 son países en desarrollo. La figura 6 recoge los países que sembraron cultivos transgénicos en 2008, así como la superficie y los cultivos principales. De los 13.3 millones de agricultores que decidieron sembrarlos en sus explotaciones, 12.3 millones eran pequeños agricultores radicados en países en desarrollo. Los princi-

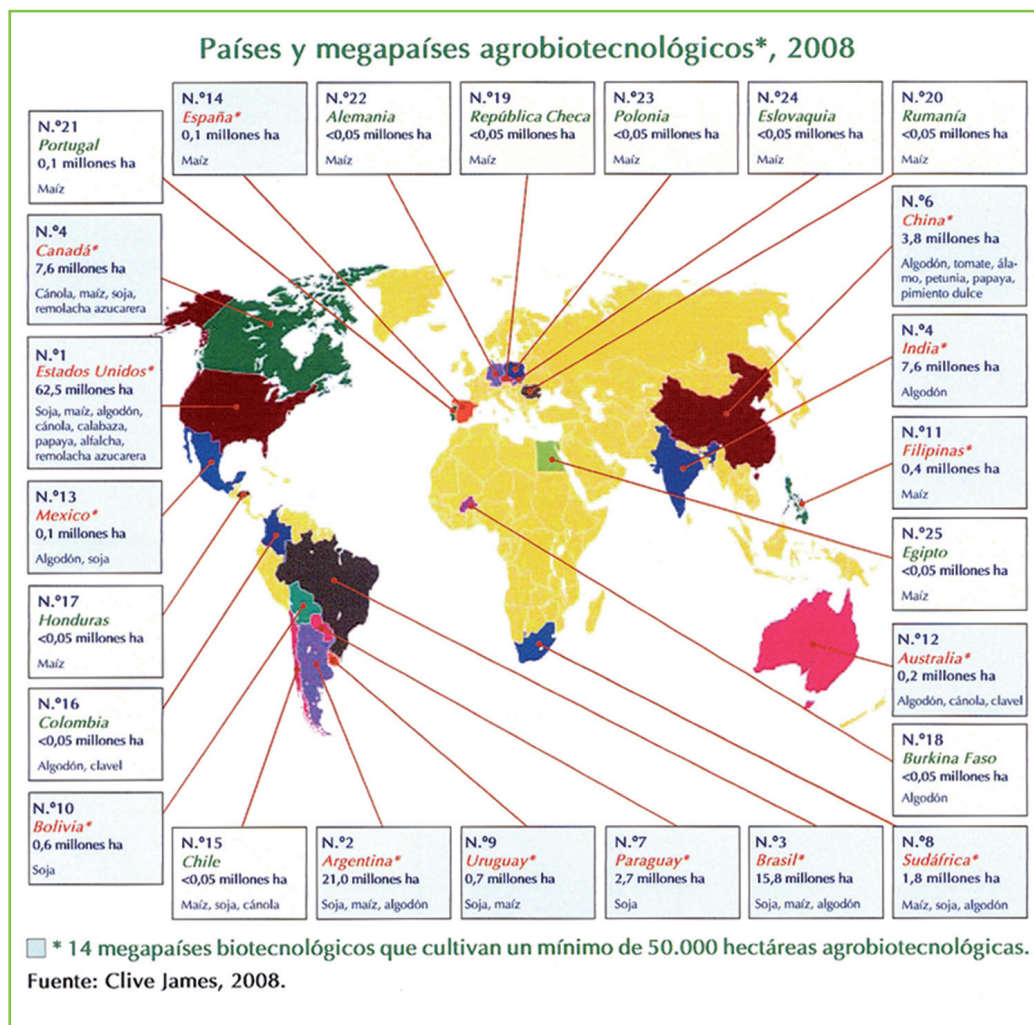
pales cultivos transgénicos siguen siendo variedades de soja, maíz, colza, y algodón tolerantes a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio que ocuparon 79 millones de ha (63% del total de la superficie mundial sembrada con cultivos transgénicos).

Figura 5.- Superficie mundial de cultivos transgénicos (1996 – 2008).



Tomado de C James (2009), "Situación mundial de la comercialización de cultivos biotecnológicos/transgénicos en 2008". Brief 29. (<http://www.isaaa.org>).

Figura 6.- Países en los que se sembraron variedades transgénicas en 2008.



Tomado de C. James (2009).

Desde estos comienzos el sector privado ha tenido un gran protagonismo (excesivo para muchos) en el desarrollo de plantas transgénicas, con una implicación menor,

aunque muy significativa, del sector público. En la actualidad las multinacionales principales en este campo son (no necesariamente en orden de importancia), entre otras: Monsanto, Syngenta, BASF, Bayer, Dow-Chemical, Pioneer Hi-Bred, Dupont.

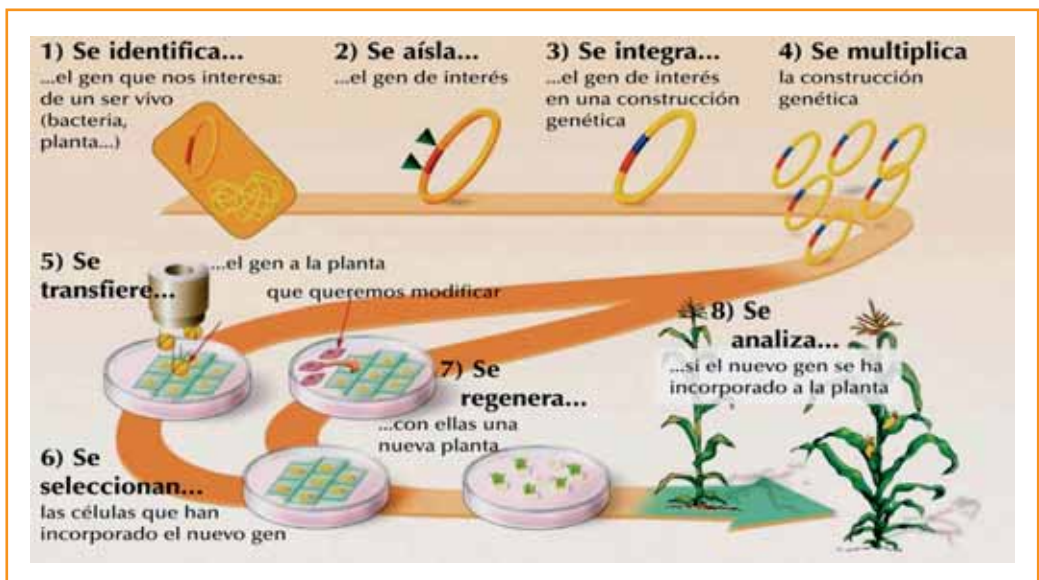
3.2.- ¿Cómo se hace una planta transgénica?

El proceso de obtención de una planta transgénica descansa en 3 pilares científicos:

- La posibilidad de modificar el ADN, cortando el segmento que porta un gen que nos interesa y empalmándolo en otro trozo de otro ADN diferente, y así prepararlo para insertarlo en una célula.
- El transporte (o inserción) de ese segmento de ADN ya preparado al interior de una célula de la planta receptora.
- Las técnicas de cultivo de tejidos vegetales que nos permitirán regenerar la planta entera a partir de la célula que ha recibido el gen que nos interesa.

Este proceso, con sus tres etapas, se resume en la Figura 7.

Figura 7.- Cómo se hace una planta transgénica.



Tomado de: PC David. Molecular Biology. Elsevier, 2005

Inicialmente se identifica el gen que aportará la característica de interés a la planta (etapa 1). Este gen puede estar en cualquier tipo de organismo. Por ejemplo, el gen que confiere la resistencia a determinadas especies de insectos procede de la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis*, ya mencionada anteriormente al hablar del control de plagas en la agricultura ecológica. En las etapas 2 y 3 el gen se aísla cortando el segmento adecuado de ADN, se empalma (etapa 3) en otro segmento de ADN y se prepara para que sea funcional en la célula que lo recibirá. Para cada experimento de inserción de genes en células vegetales se necesitan miles de copias del gen ya preparado, ya que cada vez vamos a poder transformar varios cientos o miles de células. Por tanto, necesitamos obtener cientos o miles de copias de ese gen que hemos preparado. Esta operación de "fotocopiado" del gen preparado se realiza en microorganismos y recibe el nombre de "clonado" (etapa 4).

A continuación se procede a la inserción (etapa 5), lo que se puede lograr por dos procedimientos diferentes, dependiendo de la planta que se vaya a transformar:

- La llamada "pistola de genes", un aparato cuyo funcionamiento es similar al de una pistola de aire comprimido, fuerza la entrada del nuevo gen en las células de la planta;
- la bacteria del suelo *Agrobacterium tumefaciens* es capaz de insertar naturalmente su propio material genético en muchas especies vegetales a través de heridas producidas en ellas, causando un tumor llamado "agalla coronaria". La figura 8 muestra un árbol con este tumor.

Esta bacteria se prepara para que inserte el gen deseado en la célula vegetal sin causarle la enfermedad.

Cualquiera de estos dos procedimientos son los que se utilizan rutinariamente para insertar un segmento de ADN en una célula vegetal.

Figura 8.- *Agalla coronaria* producida por la bacteria del suelo *Agrobacterium tumefaciens*

En la siguiente etapa (6) se identifican aquellas células que han incorporado el nuevo gen y, se seleccionan para que, a continuación, mediante técnicas de cultivo de tejidos *in vitro* (etapa 7), se puedan regenerar las plantas completas a partir de estas células. Así, todas las células de la planta regenerada tendrán el gen diferente de manera que la planta poseerá la característica específica que le confiere ese gen.

Finalmente, las plantas, y las partes comestibles, se someterán a los análisis pertinentes para determinar sus características agronómicas, su inocuidad para los consumidores y para el medio ambiente.



A lo largo de este proceso se seleccionará el mejor ejemplar desde todos los puntos de vista que, por técnicas de hibridación clásica, transferirá el nuevo gen a las variedades comerciales. Así, a partir de una única planta transgénica se pueden obtener muchas variedades comerciales del mismo cultivo, cada una con sus características agromónicas diferentes, portando todas la nueva propiedad. La Tabla 3 muestra 88 variedades de maíz transgénico producidas por diferentes empresas de semillas con la misma característica de resistencia a insectos. Como se puede observar, aunque la planta transgénica original es propiedad de la multinacional Monsanto (St. Louis, Mo., EEUU), son muchas las empresas que desarrollan las variedades comerciales derivadas de ella.

Tabla 3.- 88 variedades de maíz transgénico producidas por diferentes empresas de semillas a partir de una planta transgénica denominada MON-00810-6. Este conjunto de letras y números es el identificador específico de una modificación génica concreta y recibe el nombre de "evento" (definición en la Tabla 4). La fecha que aparece entre paréntesis junto a cada variedad es la correspondiente a la de su autorización. Las variedades que aparecen en color verde están incluidas en el Catálogo Europeo de variedades.

88 variedades de maíz MG derivadas de MON-00810-6 están autorizadas para su comercialización en España (mayo 2008)

Empresa comercializadora	Variedad (fecha de autorización en BOE o en el <i>Catálogo Europeo</i>) *Las variedades marcadas en verde son las registradas en el Catálogo Europeo
Pioneer Hi-Bred	PR33P67 (11/03/03), PR32P76 (16/02/04), BACILA (11/08/05), PR32R43 (11/08/05), PR32W04 (11/08/05), PR34N44 (11/08/05), PR36R11 (11/08/05), PR31N28 (07/09/06), PR33B51 (07/09/06), PR36B09 (07/09/06), PR31D21 (25/04/08), PR31D61 (25/04/08), PR31P43 (25/04/08), PR32T86 (25/04/08), PR35Y69 (25/04/08), ELGINA (17/09/04), OLIMPICA (17/09/04), BOLSA (17/09/04), LEVINA (17/09/04), PR38F71 (21/04/06), PR39V17 (21/04/06), PR39F56 (22/06/06), PR39D82 (28/08/07), PR38A25 (28/08/07), PR32G49 (16/04/08), PR32K62 (16/04/08), PR39T47 (30/04/08)
Monsanto Agricultura	DKC 6575 (11/03/03), DKC 6550 (16/02/04), DKC4442YG (11/08/05), DKC5784YG (11/08/05), DKC6041YG (11/08/05), DKC 5018YG (07/09/06), DKC6531YG (06/10/06), DKC6419YG (11/05/07), DKC6451YG (11/05/07), DKC6667YG (11/05/07), DKC6844YG (11/05/07), TABALA YG (25/04/08), DKC513 (17/09/04), DKC3421YG (21/04/06), DKC3946YG (28/08/07), DKC2950YG (30/04/08)
Limagrain Ibérica	ALIACAN BT (11/03/03), ARISTIS BT (11/03/03), GAMBIER BT (16/02/04), CAMPERO BT (16/02/04), HELEN BT (11/08/05), BELES SUR (07/09/06), LUSON BT (07/09/06), VIRIATO BT (07/09/06), ASTURIAL BT (07/09/06), ABREGO BT (07/12/06), PONCHO YG (11/05/07), THURRO YG (11/05/07), LG3711 YG (25/04/08), NOVELIS (17/09/04), LG3233YG (28/08/07)
Semillas Fitó	JARAL BT (16/02/04), SF1035T (11/08/05), SF1036T (11/08/05), SF1112T (11/08/05), SF4701T (07/09/06), AZEMA YG (07/09/06), CARELLA YG (25/04/08)
Artesa (Euralis)	CUARTAL BT (16/02/04), RIGLOS BT (11/08/05), ES MAYORAL YG (25/04/08), ES ARCHIPEL YG (25/04/08), ES CAJOU YG (25/04/08), ES PAOLIS YG (25/04/08), ES ZODIAC YG (25/04/08)
Koipesol	PROTECT (16/02/04), KAPER YG (23/03/07)
Agrar Semillas	FOGGIA (11/08/05), MAS 60YG (11/05/07), MAS 58YG (25/04/08), MAS 71YG (25/04/08)
Corn States Int.	EVOLIA YG (07/09/06), BENJI YG (07/12/06), KOFFI YG (07/12/06), ROCCO YG (07/12/06), PLACIDO YG (23/03/07), TONIC YG (11/05/07)
KWS	KXA5491 YG (11/05/07), KURATUS (22/06/06)
Caussade Semences	VENICI YG (23/03/07)
RAGT	RUGBYXX YG (25/04/08)

Fuente: Fundación Antama (<http://www.antama.org>)

Las técnicas de ingeniería genética se utilizan para mejorar cultivos en los casos en los que una característica deseable está presente en un organismo sexualmente incompatible, o los genes que la confieren no están activos en la parte comestible de la planta. Como ventaja adicional, esta tecnología también acorta considerablemente el tiempo de desarrollo de la nueva variedad mejorada con respecto a los métodos convencionales⁹⁷. Esto es debido a que las técnicas de ingeniería genética introducen muy pocas modificaciones en el genoma, como se verá más adelante, y no es necesario eliminar las características no deseadas que, con frecuencia, se transfieren de una variedad silvestre, o de una variedad mutada, a la variedad que se desea desarrollar.

3.3.- Tipos de cultivos transgénicos

Las mejoras que nos aportan los cultivos transgénicos ya autorizados y comercializados, y en diferentes etapas de desarrollo se pueden clasificar en dos grandes grupos:

1. Mejora de las características agronómicas:
 - a. Resistencia a insectos; tolerancia a herbicidas;
 - b. Resistencia a virus y enfermedades;
 - c. Tolerancia a escasez de agua;
 - d. Tolerancia a condiciones marginales como salinidad, suelos ácidos.
2. Mejora de las características nutricionales: aumento del contenido de vitaminas, de aminoácidos esenciales deficitarios, de ácidos grasos saludables, de minerales, etc.

3.3.1.- Mejora de las características agronómicas

Los cultivos que están más desarrollados son aquellos que mejoran algunas características agronómicas para reducir las pérdidas por ataque de especies concretas de insectos y enfermedades víricas, y para mejorar las prácticas agronómicas mediante el uso de herbicidas menos agresivos (cultivos tolerantes a determinados herbicidas)⁹⁸. La Unión Europea de momento sólo ha autorizado cultivos resistentes a insectos y tolerantes a herbicidas para su uso como alimentos o ingredientes alimentarios, como se puede ver en la Tabla 4. En Europa sólo está autorizado el cultivo de un tipo de maíz transgénico resistente a insectos, el MON810.

Tabla 4.- Cultivos transgénicos autorizados en Europa (adaptada de R Batista y MM Oliveira. 2009. "Facts and fiction of genetically engineered food". *Trends in Biotechnology* 27(5), 277-286).

Cultivo	Productor	Característica	Fecha autorización
Soja			
GTS 40-3-2*	Monsanto	tolerancia a herbicidas	1996
A2704-12	Bayer Crop Science	tolerancia a herbicidas	2008
Maíz			
T25	Bayer Crop Science	tolerancia a herbicidas	1998
MON 810	Monsanto	resistencia a insectos	1998
MON 809	Pioneer Hi-Bred	resistencia a insectos	1998
Bt11	Syngenta	resistencia a insectos	1998
		tolerancia a herbicidas	2004
MON 863 x NK603	Monsanto	tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos	2003
NK603	Monsanto	tolerancia a herbicidas	2005
GA 21	Syngenta	tolerancia a herbicidas	2008
MON863	Monsanto	resistencia a insectos	2003 y 2006
DAS1507	Pioneer & Dow Agro Sciences	tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos	2006
DAS1507 x NK603	Pioneer & Dow Agro Sciences	tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos	2007
NK603 x MON810	Monsanto	tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos	2007
DAS59122	Pioneer & Dow Agro Sciences	tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos	2007
Colza			
GT73	Monsanto	tolerancia a herbicidas	1997
T45	Bayer Crop Science	tolerancia a herbicidas	1998
MS8 x RF3	Bayer Crop Science	esterilidad del macho	2007
Algodón			
MON1445	Monsanto	tolerancia a herbicidas	2002
MON531	Monsanto	resistencia a insectos	2002
MON15985	Monsanto	resistencia a insectos	2003
MON15985 x MON1445	Monsanto	tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos	2003
MON531 x MON1445	Monsanto	tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos	1997
Remolacha azucarera			
H7-1KWS SAAT	Monsanto	tolerancia a herbicidas	2007

*Esta combinación de letras y números identifica inequívocamente a cada cultivo, y se denomina "evento". El evento está definido por el gen específico que se ha introducido en la planta y por el lugar del genoma en el que se ha insertado. A partir de un evento se pueden obtener muchas variedades comerciales (por cruzamiento) que tendrán el mismo gen insertado en el mismo lugar del genoma.

3.3.1.1.- Cultivos resistentes a insectos

Popularmente conocidos por "cultivos Bt", portan un gen bacteriano proveniente de la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis* (de aquí el nombre de estos cultivos) que permite a la planta sintetizar una proteína tóxica para determinados insectos plaga. Algunos de estos insectos se protegen desde los primeros estadios larvarios "taladrando" (de ahí su nombre) el tallo de la caña de maíz, o la cápsula del algodón, donde los plaguicidas químicos fumigados sobre la planta no les afectan. La figura 9 muestra cañas y mazorcas de maíz dañadas por el taladro de este cultivo.

Existen diferentes subespecies de esta bacteria del suelo que producen toxinas insecticidas lo suficientemente diferentes como para que cada una afecte a unas pocas especies de insectos plaga, como se indica en la siguiente tabla⁹⁹:

Subespecie de <i>Bacillus thuringiensis</i>	Insecto diana principal
kurstaki	taladro del maíz, enrollador de la col, taladro del algodón
tenebrionis	escarabajo de la patata
kumamotoensis	escarabajo de la raíz del maíz (larva)

Figura 9.- Daño en cañas y mazorcas de maíz debidos al insecto denominado "taladro".



- izquierda: la primera es una caña de maíz intacta. La siguiente muestra el agujero hecho por el taladro para entrar en su interior (flecha). Las tres de la derecha muestran cañas atacadas por el taladro.

- derecha: mazorcas de maíz atacadas por el taladro que muestran diferentes grados de infestación.



- izquierda: larvas del taladro del maíz alimentándose del interior de la caña.
- derecha: cañas dañadas por el taladro, rotas, difíciles de cosechar.

Los cultivos Bt más extendidos son el maíz y el algodón. El arroz en China y la berenjena en India están ya muy próximos a su comercialización.

Debemos señalar que la bacteria *B. thuringiensis* es extensamente utilizada en formulaciones fumigables tanto en la agricultura ecológica (como ya hemos señalado) como en la agricultura convencional. La toxicología de esta bacteria y de su toxina está ampliamente estudiada, no siendo tóxica para los seres humanos ni para los vertebrados¹⁰⁰.

3.3.1.2.- Cultivos tolerantes a herbicidas

Los herbicidas interfieren con alguna de las vías metabólicas¹⁰¹ importantes para el desarrollo y crecimiento de la planta diana, de manera que los productos de esa vía metabólica no se sintetizan. Como consecuencia, la planta no se desarrolla con normalidad y muere. Para realizar esta acción, el herbicida tiene que interactuar con alguno de los enzimas que catalizan alguna de estas reacciones, haciéndole perder su actividad. En realidad, es como si colocaran un tapón en el flujo de esa vía metabólica, interrumpiéndola.

Se pueden utilizar varias estrategias para conseguir que una planta sea tolerante a un herbicida¹⁰². Por ejemplo, se le puede proporcionar un gen de otra especie que sintetice un enzima diana algo diferente como para que el herbicida no lo pueda inactivar. La planta tendría 2 enzimas para catalizar la misma reacción, el suyo propio se inactivaría con el herbicida, pero el otro no y podría llevar a cabo la reacción correspondiente. Así, la planta podría desarrollarse con normalidad. El maíz no transgénico *Clearfield* lleva una mutación que, en la práctica, funciona de manera semejante: el herbicida no afecta al propio enzima de la planta. Otra posibilidad es proporcionarle a la planta un gen de otra especie que sea capaz de destruir el herbicida cuando éste se encuentre en el interior de la célula vegetal, por lo que la planta podría seguir desarrollándose.

La mayoría de las plantas transgénicas tolerantes a herbicidas lo son al herbicida glifosato, fabricado por la multinacional Monsanto, aunque la patente original para este producto expiró en el año 2000. Este herbicida es muy efectivo contra muchas especies de malas hierbas de hoja ancha y afecta a una vía metabólica que no está presente en los seres humanos ni en muchos animales, que es la que sintetiza los aminoácidos aromáticos (esenciales para las personas)¹⁰³. Además, es un compuesto que se degrada con facilidad en la naturaleza, por lo que resulta menos agresivo para el medio ambiente que otros herbicidas de uso frecuente. Un reciente estudio ha demostrado que la concentración de glifosato en las aguas de escorrentía es 7 veces menor que la de otros herbicidas frecuentemente utilizados en el cultivo de soja convencional¹⁰⁴.

El sorgo tolerante a herbicidas ha resultado ser un eficaz método de controlar la mala hierba denominada "hierba bruja" (*Striga spp*)¹⁰⁵ que es una importante plaga en África subsahariana porque parasita las raíces de los cultivos por lo que, aunque se elimine a mano (la mujer es el "herbicida" habitual para los agricultores de subsistencia en países de desarrollo), el cultivo resulta dañado (Figura 10). Las semillas de sorgo tratadas con el correspondiente herbicida impiden la colonización de sus raíces por la hierba bruja.

Figura 10.- Planta de hierba bruja (con flores rosas; *Striga spp.*) en un campo de maíz (izquierda), y esquema de cómo parasita las raíces de una planta de maíz (derecha). También puede parasitar el sorgo, el cacahuete y otros cultivos.



Tomada de Chrispeels and Sadava (2003). Obra citada.

3.3.1.3.- Cultivos resistentes a virus y enfermedades

En Estados Unidos y en otros países también están autorizados varios cultivos resistentes a virus, como la papaya y diversas especies de calabacines. Los virus son muy difíciles de controlar ya que no existen productos eficaces. Se propagan con mucha facilidad en todo el cultivo y causan pérdidas elevadas, pudiendo llegar hasta el 80% de la cosecha o más. Así, en la década de 1980 la papaya fue prácticamente arrasada en Hawaii por el virus denominado *ringspot*. A comienzos de los años 90 científicos de la Universidad de Cornell en EEUU desarrollaron una papaya resistente a virus¹⁰⁶ cuyo cultivo se autorizó en 1998. En la actualidad, el cultivo de la papaya se ha recuperado y más del 40% de la papaya que se cultiva en Hawaii es resistente a este virus.

3.3.1.4.- Cultivos tolerantes al estrés abiótico

El cambio climático afectará negativamente a la agricultura global y a la salud humana, según el estudio realizado por el *International Food Policy Research Institute*¹⁰⁷. Aunque en algunas regiones del mundo la agricultura se beneficiará, la productividad global descenderá significativamente, con el consiguiente aumento del precio de los alimentos. Como consecuencia, se espera una disminución general en la seguridad alimentaria y en el total de calorías ingeridas por la población actualmente más necesitada. El informe insiste en la necesidad de aumentar la investigación agrícola y en utilizar todos los adelantos científicos. Igualmente, resalta la necesidad de mejorar las infraestructuras rurales para que los pequeños y medianos agricultores puedan beneficiarse de los cultivos mejorados.

Debemos mencionar también los cultivos tolerantes a la sequía y a terrenos marginales que, aunque todavía su comercialización no está autorizada en ningún país, los ensayos de campo están muy avanzados y se espera que se autoricen próximamente. Como es sabido, el porcentaje de tierras afectadas por la sequía se ha multiplicado por dos entre 1970 y 2001, pasando del 10-15% al 30% en estos años¹⁰⁸. La agricultura consume alrededor del 70% del agua potable disponible¹⁰⁹. Por término medio, se necesitan entre 2.000 y 5.000 L de agua, según el tipo de alimento, para producir la comida diaria de 1 persona. La Tabla 5 muestra la cantidad de agua necesaria para producir algunos alimentos comunes.

Los cultivos tolerantes a la sequía permiten obtener la misma cantidad con hasta 30% menos agua, lo que significa un aumento de entre el 6 y el 10% en estas condiciones. En la actualidad las pruebas de campo con arroz, maíz, trigo y cacahuete están muy avanzadas, esperándose que se comercialice el maíz y el trigo resistente a la sequía en un par de años (véase la Tabla 6). Los cultivos tolerantes a la sequía son objeto de intensa investigación en

países en desarrollo, principalmente India y los países de África subsahariana apoyados por consorcios público-privados entre empresas multinacionales como Monsanto y Syngenta y fundaciones privadas, como la Fundación Bill & Melinda Gates¹¹⁰.

Tabla 5.- Consumo medio de agua para la producción de algunos alimentos. Adaptada de la página de la FAO ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/factsheet_wwf_spa.pdf

PRODUCTO	LITROS DE AGUA POR KG DE PRODUCTO
trigo	1.200
arroz	1.700
maíz	450
patata	160
soja	2.300
carne de vacuno	15.000
carne de cerdo	6.000
carne de ave	2.800
huevos	4.700
leche	900
queso	5.300

Tabla 6 – Algunos cultivos transgénicos resistentes a la sequía.

Cultivo	rendimiento*	notas	referencia
trigo	20%	ensayos de campo, Australia	http://www.agrodigital.com/PIArtStd.asp?CodArt=58658
maíz	6 – 10%	ensayos campo EEUU	http://www.fundacion-antama.org/noticia/la-biotecnologia-posee-semillas-de-esperanza-para-africa

*comparado con el cultivo tradicional, y en condiciones de sequía.

Los terrenos ácidos cubren aproximadamente el 30% de la tierra libre de hielo, lo que representa el 40% de la tierra cultivada. Sólo en América del Sur hay más de 850 millones de ha de terrenos ácidos, extendiéndose también por África subsahariana, Europa, el sudeste asiático, y la mitad este de EEUU y Canadá. La gran mayoría de los agricultores pequeños y de subsistencia en los países en desarrollo cultivan estos terrenos marginales. En los suelos ácidos, el aluminio que solubiliza la acidez inhibe el crecimiento de la raíz, mientras que en los suelos alcalinos la falta de fósforo impide que la planta complete su ciclo vital, por lo que no llega a producir semilla. El rendimiento de los cultivos en estos terrenos es muy bajo. Los investigadores del Centro Internacional para la Mejora del Maíz y del Trigo (CIMMYT, México) han desarrollado unos cultivos transgénicos que, con la misma modificación génica, resuelven los dos problemas, el de los terrenos ácidos y el de los alcalinos, por lo que se pueden cultivar en ambos tipos de suelos¹¹¹.

Todos estos cultivos no necesitan productos fitosanitarios extra para su cultivo, y permiten aumentar su productividad por el sencillo procedimiento de reducir las pérdidas, y/o de aprovechar terrenos de escasa productividad, sin necesidad de ampliar las superficies de cultivo.

3.3.2.- Mejora de las características nutricionales

Todos los cultivos básicos principales (arroz, maíz, trigo) carecen de algunos nutrientes, por lo que una dieta variada de productos frescos es indispensable para mantener la salud. Sin embargo, más del 50% de la población del mundo, principalmente en los países en desarrollo, no tiene acceso, por razones muy diversas, a una variedad de alimentos nutritivos y saludables¹¹². Por tanto, aunque la dieta llegue a proporcionar la cantidad de calorías adecuada, se calcula que aproximadamente la mitad de la población del mundo sufre la llamada "malnutrición de micronutrientes", o "hambre oculta", teniendo déficits importantes en nutrientes esenciales como vitaminas, minerales (principalmente hierro), y algunos aminoácidos (proteína de baja calidad)¹¹³. Por ejemplo, se estima que más de 3.000 millones de personas en países en desarrollo tienen deficiencia de hierro, y unos 3 millones de niños en edad pre-escolar tienen daños visibles en los ojos debido a deficiencia de vitamina A¹¹⁴. Es verdad que estas deficiencias se puede suplir con una dieta variada de frutas, verduras, pescado y carne, además de cereales, pero la gran mayoría de las personas de países en desarrollo que se alimentan a base de uno o dos alimentos básicos (maíz, arroz, trigo, por ejemplo) diferentes no pueden pagar los demás.

Este segundo gran grupo de cultivos transgénicos que nos ofrecen ventajas nutricionales al consumidor quizá no despierten mucho interés en los países desarrollados, como Europa, Estados Unidos, Japón o Australia, puesto que una amplia mayoría de sus habitantes puede acceder a una variedad grande de alimentos. Sin embargo, en los paí-

ses en desarrollo pueden tener un gran impacto en la mejora de la salud de las personas. En este grupo encontramos cultivos con mayor contenido en determinadas vitaminas (vitamina C, vitamina A, vitamina E) y minerales (hierro y zinc principalmente), mayor contenido en aminoácidos esenciales, aceites vegetales con mayor concentración de ácidos grasos saludables, mayor concentración de antioxidantes, composición del almidón más apta para los diabéticos.

En este grupo hay una gran variedad de cultivos que se encuentran en diferentes estados de desarrollo y comercialización. Todavía hay muy pocos cultivos con mejoras nutricionales autorizados en el mundo. En Estados Unidos y en Canadá se autorizó en 2006 el maíz de alto contenido en lisina (aminoácido esencial para el ser humano y los animales de granja)¹¹⁵. Hace unos meses se autorizó en Canadá y en Méjico la soja de alto oleico y se espera que próximamente se autorice en Estados Unidos¹¹⁶. El aceite de esta soja contiene un 80% de ácido oleico, similar al porcentaje medio de los aceites de oliva¹¹⁷, pero de un precio considerablemente menor. Ninguno de estos cultivos está todavía autorizado en Europa.

Aunque algunas de estas mejoras nutricionales se podrían introducir también por técnicas no transgénicas, como la mutagénesis (descrita más abajo), un problema importante es el tiempo que se necesita para identificar las características de interés en las plantas así tratadas y para pasar estas características a las variedades comerciales de élite. Con frecuencia, las técnicas transgénicas acortan significativamente este tiempo¹¹⁸.

En este grupo de cultivos con mejoras nutricionales quizá el más conocido sea el *Arroz Dorado*, llamado así por su color amarillo-naranja debido a la acumulación de β -caroteno, precursor de la vitamina A. Este cultivo transgénico fue desarrollado por los investigadores I. Potrykus y P. Beyer con la finalidad de contribuir a aliviar los problemas de salud derivados de la grave deficiencia de vitamina A en grandes sectores de la población que se alimentan casi exclusivamente de arroz, principalmente en los países del sudeste asiático. Según la Organización Mundial de la Salud, la deficiencia de vitamina A es la causa de que entre 250.000 y 500.000 niños queden ciegos todos los años. Además debilita el sistema inmune de aproximadamente el 40% de los niños menores de 5 años en los países en desarrollo y aumenta significativamente el riesgo de que enfermedades comunes de la infancia se conviertan en enfermedades graves¹¹⁹.

El arroz no acumula β -caroteno naturalmente en el endospermo de la semilla comestible, ni existe ninguna variedad de arroz, cultivada ni silvestre, que lo acumule. Por tanto, la única posibilidad de conseguirlo fue utilizar técnicas de ingeniería genética para introducir los genes necesarios, provenientes de otras plantas. El desarrollo se hizo enteramente con financiación pública, aunque se debieron utilizar algunos elementos patentados por varias multinacionales y centros públicos de investigación. De todas maneras, los dueños de las patentes han cedido sus derechos para el desarrollo humanitario de este cultivo, de manera que esté disponible en países en desarrollo sin cargo adicional.

De todas las críticas que se han hecho al *Arroz Dorado*, la única con fundamento científico fue que el cultivo inicial no acumulaba suficiente cantidad de β -caroteno, por lo que había que ingerir excesiva cantidad de arroz para conseguir la cantidad diaria recomendada. Desde 2005 ya se dispone de una variedad mejorada¹²⁰ con una elevada cantidad de β -caroteno que se convierte eficazmente en vitamina A en el organismo¹²¹, proporcionando prácticamente entre 80 y 100% de la cantidad diaria necesaria de vitamina A con una ingesta de 100 g (crudos) de arroz. Los estudios que se han hecho, tanto de inocuidad para los consumidores como para el medio ambiente indican que es un cultivo seguro. Sin embargo, todavía no se ha comercializado debido a la polémica¹²², en nuestra opinión, totalmente infundada que sigue rodeando a este cultivo claramente humanitario. Se espera que se pueda comercializar, ya definitivamente, dentro de un par de años.

Se está trabajando activamente para conseguir que otros cultivos básicos para la alimentación de muchos países en desarrollo, como la mandioca, el ñame o el boniato, y el sorgo, también acumulen β -caroteno. En 2009 investigadores de la Universidad de Lleida consiguieron un maíz hipervitamínico, que tiene concentraciones muy elevadas de β -caroteno (169 veces mayor que la habitual), de vitamina C (6 veces mayor) y de ácido fólico (2 veces mayor)¹²³. Este maíz, que tiene una productividad moderada, no es híbrido por lo que los agricultores podrán guardar la semilla de un año para otro.

Como es sabido, la proteína vegetal, a diferencia de la proteína animal, no nos proporciona a los seres humanos todos los aminoácidos necesarios, y en la proporción adecuada, para nuestras necesidades vitales. No es una "proteína completa", por lo que se suele recomendar complementar legumbres con cereales, por ejemplo lentejas con arroz, para compensar las deficiencias de cada una. Recientemente en Estados Unidos se ha comercializado un maíz con una concentración de lisina 40 veces superior¹²⁴, aminoácido deficitario en el maíz y uno de los aminoácidos esenciales para el ser humano.

Los antioxidantes son compuestos cuyas concentraciones en determinados alimentos también se han conseguido aumentar significativamente por técnicas de ingeniería genética. Así, en 2008 se publicó el desarrollo de un tomate de color morado debido a su elevada concentración de antocianinas¹²⁵.

Además de la soja de alto oleico ya mencionada, la composición de ácidos grasos de las plantas oleaginosas también se está modificando para obtener aceites y margarinas con ácidos grasos más saludables¹²⁶. Así, por ejemplo, se ha conseguido una soja que produce ácido estearidónico que los tejidos animales pueden convertir en ácido eicosapentaenoico (uno de los ácidos grasos de pescado, $\omega 3$), o colza de alto oleico, o de alto esteárico (para producir margarinas con bajo contenido en ácidos grasos *trans*).

Tabla 7.- Algunos cultivos transgénicos con mejoras nutricionales cuya comercialización se espera en un futuro próximo.

Cultivo	Característica
soja	con alto contenido en ácido oleico
colza	con alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados ω -3
arroz	composición más saludable de ácidos grasos
	alto contenido en β -caroteno (pro-vitamina A)
	alto contenido en hierro
maíz	alto contenido en ácido oleico
	mayor contenido en lisina (aminoácido esencial)
	mayor contenido en β -caroteno, ácido fólico y vitamina C
patata	mayor contenido en amilosa
tomate	mayor contenido en antioxidantes
mandioca (yuca)	alto contenido en β -caroteno y bajo contenido en glucosinolatos

3.4.- Inocuidad de los cultivos transgénicos

Este aspecto es, a todas luces, el más importante desde el punto de vista de la alimentación de las personas y por esta razón se han dedicado, y se dedican, enormes recursos para asegurar que, como poco, son tan inocuos como los alimentos producidos por los métodos llamados convencionales.

Desde el punto de vista de la salud humana y sus propiedades nutricionales, consideramos dos tipos de cultivos transgénicos:

- Aquellos que portan genes para mejorar sus características agronómicas (conocidas como "input traits" en la literatura escrita en inglés), o los que protegerán a la planta frente a diferentes formas de estrés abiótico como la sequía, el exceso de sales (terrenos salinos), o de acidez (terrenos ácidos).
- Aquellos que mejoran sus características nutricionales ("output traits"): tienen una mayor concentración de vitaminas, proteína, aminoácidos esenciales, minerales, u otros compuestos beneficiosos para la salud (antioxidantes), o una composición más saludable de ácidos grasos.

En todos los países, por lo que conocemos, los cultivos transgénicos deben pasar una rigurosa evaluación de los riesgos que pueden presentar para las personas, basada en

gran cantidad de datos científicos diversos. Describiremos brevemente el tipo de pruebas que debe presentar la entidad que solicita la autorización para la comercialización de un cultivo transgénico en Europa por ser el sistema que mejor conocemos, y probablemente el más exigente del mundo.

En la Unión Europea todos los cultivos transgénicos deben pasar una evaluación de riesgos para el consumidor (y para el medio ambiente, como veremos más adelante) y recibir un informe positivo de la EFSA, como condición necesaria, antes de poder ser autorizados¹²⁷. El objetivo de esta evaluación es determinar si el cultivo transgénico es tan inocuo como el cultivo convencional antes de su modificación transgénica. A este fin se deben aportar los datos científicos necesarios para poder tener la certeza razonable de que no producirá daños a la salud de los consumidores, sabiendo que ni la certeza absoluta de que algo no vaya a suceder, ni el riesgo cero, existen en este mundo. Los documentos Guía de la EFSA describen las diferentes etapas y pruebas a que se deben someter los cultivos transgénicos en la Unión Europea¹²⁸.

Consideramos importante destacar que la legislación europea únicamente contempla la evaluación de riesgos, sin tener en cuenta los posibles beneficios que los cultivos transgénicos puedan aportar, de los que hablaremos un poco más adelante. Coincidimos con el Grupo Europeo de Ética en Ciencia y Nuevas Tecnologías Agrícolas¹²⁹ en que las evaluaciones del impacto de los cultivos transgénicos deben tener en cuenta, además de los riesgos, los beneficios que su uso aporta para la salud y para el medio ambiente, así como los riesgos y beneficios de su no utilización, incluyendo los de seguir manteniendo las prácticas y tecnologías actuales. Esta no inclusión de los beneficios en la evaluación global hace que ésta no sea ecuánime, y priva a la sociedad de un importante aspecto que se debe tener en cuenta para poder elegir aquello que sea, en su conjunto, más beneficioso.

El proceso de la evaluación de riesgos no evalúa el proceso por el cual se ha obtenido el alimento, sino el alimento final, que es, en definitiva, lo que los consumidores van a ingerir, comparándolo en todo momento con el alimento convencional antes de introducir su modificación génica. Es, por tanto, un estudio comparativo de las propiedades nutricionales de ambos alimentos. Aunque los alimentos convencionales nunca se han evaluado teniendo en cuenta su inocuidad para los consumidores, se aplica el principio de la *familiaridad* a los alimentos convencionales que se van a utilizar como controles, ya que se conocen bien puesto que se están cultivando y consumiendo durante mucho tiempo.

3.4.1.- Metodología de la evaluación de la inocuidad

Una descripción detallada de las pruebas que se deben aportar excede el ámbito de este trabajo, por lo que remitimos a las personas interesadas a los documentos Guía de la EFSA, ya mencionados.

La evaluación de los riesgos que puede tener el nuevo alimento transgénico para los consumidores tiene 4 etapas fundamentales a lo largo de las cuales se estudian en paralelo el nuevo cultivo transgénico y el correspondiente cultivo convencional a partir del cual se ha obtenido el primero ("variedad isogénica", es decir la que tiene los mismos genes, excepto las modificaciones introducidas en el transgénico) (Figura 11):

1.- estudio analítico comparativo de la variedad transgénica y de la convencional identificando las diferencias en 3 niveles:

- Nivel del genoma: identificación y caracterización del gen, o genes, introducidos, y su lugar de inserción en la planta transgénica.
- Nivel de la(s) nueva(s) proteína(s) expresada(s) por este gen o genes, u otras proteínas nuevas que aparezcan como consecuencia de la modificación transgénica introducida.
- Nivel de los compuestos químicos sintetizados por la planta: compuestos diferentes, o compuestos habituales en diferentes proporciones, que la planta transgénica sintetice como consecuencia de la modificación introducida.

2.- estudio de la inocuidad de las diferencias encontradas:

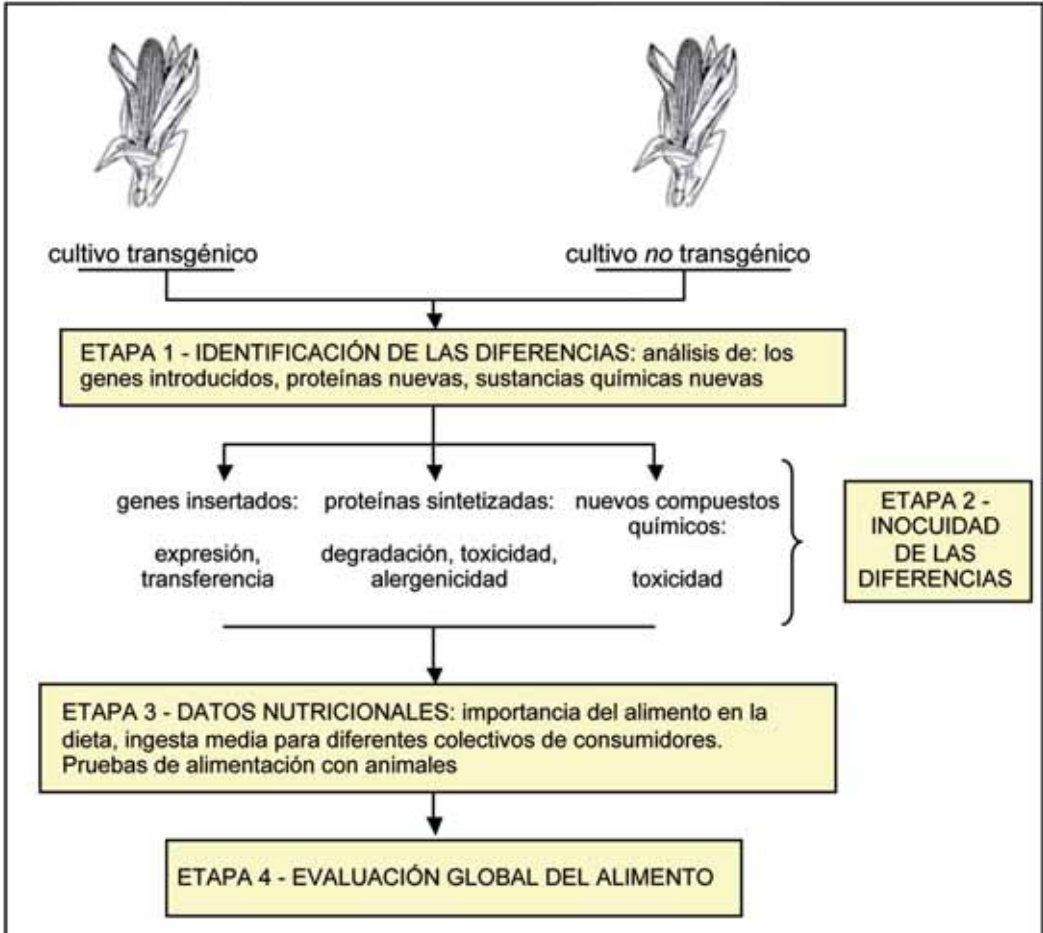
- Toxicidad de la(s) nueva(s) proteína(s), y/o de los compuestos nuevos encontrados.
- Alergenicidad de la(s) nueva(s) proteína(s).
- Digestibilidad de la(s) nueva(s) proteína(s), y/o de los compuestos nuevos encontrados.
- Determinación de la cantidad diaria de esta proteína, o compuesto, que diferentes colectivos de consumidores pueden ingerir, o a la que pueden estar expuestos

3.- evaluación de los datos nutricionales, y realización de pruebas de alimentación en animales.

4.- estudio conjunto de todos los datos obtenidos y evaluación del riesgo global.

Para llevar a cabo estos estudios comparativos es necesario cultivar la planta transgénica y la convencional isogénica paralelamente en diferentes localidades, puesto que la concentración de nutrientes de un cultivo depende mucho del tipo de suelo, de la climatología, de las prácticas agronómicas, etc. De esta manera se determina la variabilidad que puede tener el cultivo tradicional y se puede decidir si los datos obtenidos para el cultivo transgénico están, o no, dentro de estos rangos de variabilidad.

Figura 11.- Esquema de las etapas de la evaluación de riesgo para los consumidores.



Adaptado del Proyecto Europeo Entransfood (Contrato nº QLK1-1999-01 182) y de HA Kuiper, & GA Kleter. 2003. "The scientific basis for risk assessment and regulation of genetically modified foods". *Trends in Food Science and Technology* 14: 277-293.

La evaluación de riesgos de los cultivos transgénicos se realiza para cada cultivo transgénico de manera individualizada. Es lo que se llama "evaluación caso por caso".

Es decir, no se evalúan de manera conjunta todos los cultivos resistentes a insectos, por ejemplo, debido a que, aunque todos lleven el gen que codifica la toxina del *B. thuringiensis*, los genes difieren según la cepa de origen, y/o la modificación génica se ha insertado en lugares diferentes del genoma de la planta. En el lenguaje técnico se denomina "evento" a la combinación del gen concreto que se ha insertado (preparado de maneras diferentes según los casos) y al lugar en el que se ha insertado en el genoma de la planta. Así, el evento denominado "MON810" (de la multinacional Monsanto) lleva un determinado gen que codifica la toxina del *B. thuringiensis* insertado en un lugar concreto y conocido del genoma del maíz, mientras que el evento "Bt-176" (de la multinacional Syngenta) lleva también el gen que codifica esta toxina aunque está preparado de manera algo diferente y está insertado en otro lugar concreto y conocido del genoma del maíz.

Un resumen de los detalles científicos aportados para la evaluación del riesgo, así como la evaluación global que hace la EFSA se recogen en el documento denominado "Opinión científica". En la página web del Panel sobre Organismos Genéticamente Modificados de la EFSA (<http://www.efsa.europa.eu/en/panels/gmo.htm>) se pueden consultar estos documentos para todos y cada uno de los eventos evaluados.

Los cultivos autorizados en diversos países que mejoran sus características agromónicas son *sustancialmente equivalentes* a los correspondientes cultivos convencionales desde el punto de vista nutricional. Esto quiere decir que aportan el mismo nivel de nutrientes para el ser humano que los convencionales, y por tanto, desde este punto de vista, son indistinguibles. Es obvio que los cultivos que aportan mejoran nutricionales, pueden ser sustancialmente equivalentes a los convencionales en todos los nutrientes excepto en aquel, o aquellos, que se han mejorado.

Entidades del prestigio de la Organización Mundial de la Salud¹³⁰, la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos¹³¹, la FAO¹³², la Asociación Médica Británica¹³³, la Unión de Academias Alemanas de Ciencias y Humanidades¹³⁴, la Real Sociedad del Reino Unido¹³⁵, la Sociedad Americana de Toxicología¹³⁶, y el Colegio Americano de Nutrición¹³⁷, entre otras, han declarado que los cultivos transgénicos aprobados para su comercialización no presentan más riesgos para la salud humana que los cultivos convencionales, por lo que se consideran tan inocuos como los convencionales. En algún caso, han señalado que algunos alimentos transgénicos pueden ser más seguros que los convencionales, haciendo referencia al problema de las fumonisinas que analizamos más adelante.

Durante los 13 años de constante aumento de los cultivos transgénicos, su potencial impacto en la salud humana y animal se ha estudiado intensamente sin encontrarse evidencias en su contra. Sin embargo, hay sectores de la sociedad que siguen hablando de riesgos potenciales a largo plazo, aunque no se especifican qué riesgos pueden ser. Con objeto de examinar esta cuestión desde un punto de vista científico, y proporcionar datos a la Comisión Europea, la Oficina Federal Alemana de Protección al Consumidor

y Seguridad Alimentaria ha publicado un extenso estudio (Informe BEETLE) de más de 100 publicaciones científicas, consultando, además, a 52 expertos en temas de salud¹³⁸ para determinar los posibles efectos a largo plazo (10-20 años) de los cultivos transgénicos para la salud de los consumidores y el medio ambiente. Concluyen que, de momento, no se han constatado efectos negativos para la salud humana derivados del consumo de alimentos transgénicos, a pesar de que hay más de 50 cultivos transgénicos comercializados en todo el mundo. Aunque los efectos inesperados negativos han ocurrido también en cultivos convencionales, no se ha detectado ninguno en cultivos transgénicos. Por tanto, consideran que la probabilidad de que surja algún problema de salud a largo plazo es despreciable.

Este estudio resalta que, con respecto al maíz Bt, es más probable que se obtengan beneficios para la salud a largo plazo debido a su menor contenido en fumonisinas, como se explica más abajo.

3.4.2.- Genes marcadores de resistencia a antibióticos

Un aspecto con frecuencia mencionado es la posibilidad de que los genes que confieren resistencia a determinados antibióticos, que están presentes en algunos cultivos transgénicos, puedan pasar a la microbiota intestinal y contribuir a aumentar la resistencia a antibióticos de muchos microorganismos patógenos. Los estudios realizados hasta ahora concluyen que la probabilidad de que un gen presente en una planta transgénica se transfiera completo (de manera que sea funcional) a un microorganismo intestinal es prácticamente despreciable debido al proceso de digestión en el intestino. A este respecto, debemos señalar que las técnicas de biología molecular y de ingeniería genética actuales permiten la eliminación de estos genes de la planta comercializada. Teniendo esto en cuenta, la Directiva Europea 2001/18 que regula la comercialización y liberación de organismos transgénicos al medio ambiente prohíbe su utilización en todos los cultivos, incluso en las pruebas de campo a partir del año 2008. De todas maneras, la EFSA ha emitido una opinión sobre la seguridad de determinados genes que confieren resistencia a algunos antibióticos que no se utilizan en medicina humana ni veterinaria¹³⁹, por lo que no constituyen ningún riesgo para las personas ni para el medio ambiente.

Podemos concluir, pues, que los cultivos y alimentos aprobados para su consumo no presentan más riesgos para la salud de los consumidores que los cultivos y alimentos convencionales, y que después de 13 años de cultivo en aumento, no parece probable que puedan tener efectos negativos para la salud de los consumidores a largo plazo.

3.5.- Aportaciones de los cultivos transgénicos

Hemos comentado más arriba que el proceso de autorización de comercialización de alimentos transgénicos, o cultivo de semillas transgénicas sólo considera los riesgos, sin tener en consideración los beneficios que nos aportan estos cultivos. En esta sección describimos brevemente algunos de los aspectos positivos que nos aportan los cultivos transgénicos.

Las aportaciones positivas de los cultivos transgénicos podemos agruparlas en los siguientes aspectos:

1. Beneficios para la salud de los consumidores y de los agricultores.
2. Beneficios agronómicos: reducción de la cantidad de plaguicidas utilizados, reducción de las emisiones de gases de invernadero, sustitución de herbicidas agresivos para el medio ambiente por otros menos persistentes, posibilidad de reducir el consumo del agua.
3. Beneficios socio-económicos.

3.5.1.- Beneficios para la salud de los consumidores

El ataque de los insectos herbívoros produce en la planta heridas que facilitan las infecciones secundarias por hongos microscópicos que, a su vez, pueden producir compuestos tóxicos. Los problemas principales en este sentido se han detectado, sobre todo, en maíz y harinas de maíz, principalmente ecológico, en las que se han detectado niveles de micotoxinas, en concreto de fumonisinas, superiores a los mínimos aceptados. Estos compuestos, producidos por algunas especies del hongo *Fusarium spp.* y *Aspergillus ochraceus*, son responsables de enfermedades del ganado que con frecuencia resultan letales. En humanos se ha encontrado relación entre la ingesta de fumonisinas y el cáncer de esófago, y se ha demostrado que interfieren con la asimilación del ácido fólico¹⁴⁰, una vitamina muy importante durante el desarrollo del feto para prevenir defectos congénitos muy graves como la anencefalia y la espina bífida. En zonas del sur de Estados Unidos en los que la población hispana principalmente consume elevadas cantidades de maíz en comparación con la población no hispana, se constató un elevado porcentaje de estos defectos congénitos entre la población mejicano-americana. En aquella época, la concentración de fumonisinas en el maíz era tres veces superior a la actual.

La figura 12 muestra niveles de fumonisinas en maíces convencionales, cultivados con insecticidas, y el maíz transgénico resistente a insectos que produce su propia proteína insecticida. Análogos resultados han publicado otros investigadores¹⁴¹. La disminución de la concentración de fumonisinas en maíz Bt puede llegar hasta 30 veces menos que en maíz convencional¹⁴², aunque varía dependiendo del nivel de infestación

de los insectos plaga y de la variedad Bt sembrada, ya que no todas producen la misma cantidad de proteína Bt. Este tipo de maíz modificado genéticamente está protegido frente al ataque de insectos que taladran el tallo y viven en su interior y en las mazorcas (Fig. 9). Como consecuencia, las plantas protegidas no sufren la infestación de los hongos del género *Fusarium*.

En Europa los niveles máximos de fumonisinas están regulados por la legislación europea¹⁴³ según el tipo de alimento: maíz no elaborado, alimentos a base de maíz, harinas, cereales para desayuno, alimentos para lactantes y niños de corta edad, etc. El sistema de Alerta Rápida sobre seguridad alimentaria (alimentos y piensos) de la Unión Europea (Rapid Alert System for Food and Feed)¹⁴⁴ ha retirado del mercado más de 60 lotes de productos ecológicos (31% de los casos) y convencionales (69%) entre 2003 y 2008 por tener concentraciones de fumonisinas superiores a los máximos aceptados¹⁴⁵. En este sistema participan los 27 estados miembros de la Comisión europea, y la EFSA.

Figura 12.- Niveles de fumonisina B1 en maíces convencionales y transgénicos cultivados en pruebas de campo en España (SP1 y SP2) y Francia (O25, O30 y O32). Las barras de error representan los valores máximos y mínimos. N: híbridos de maíz normales; BT: híbridos modificados genéticamente.

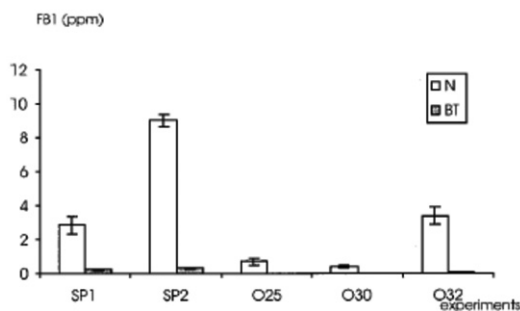


Figure 2. Fumonisin B₁ grain content from field experiments conducted in Spain (SP1 and SP2) and in France (O25, O30, and O32). Errors bars represent minimum and maximum values. N, normal maize hybrids; Bt, genetically modified maize hybrids.

Tomado de B Bakan, D Melcion, D Richard-Molard, & B Cahagnier. 2002. Artículo citado.

En España, el Grupo para la Evaluación de Nuevas Variedades de Cultivos Extensivos determinó que en las campañas de los años 2004 a 2006 el 40% de las mues-

tras de variedades convencionales contenían niveles de fumonisinas superiores a los autorizados por la legislación europea. En la campaña de 2007, el porcentaje de cultivos que no cumplían la normativa se redujo al 32% debido a que el nivel de fumonisinas autorizado se duplicó con respecto al de años anteriores al entrar en vigor el Reglamento 1126/2007, citado más arriba.

Las pérdidas debidas a altas concentraciones de fumonisinas en maíz (retirada del mercado, problemas de salud humana y animal) ascienden a decenas de millones de dólares anuales en Estados Unidos¹⁴⁶, pudiendo ser mucho mayores en otras partes del mundo.

Los beneficios para la salud de las personas y de los animales del maíz Bt, y presumiblemente también de otros cultivos con esta misma modificación genética, pueden ser particularmente importantes en países en desarrollo en los que el maíz es el alimento base de la población.

3.5.2.- Beneficios para la salud de los agricultores

En los países en desarrollo es frecuente que los agricultores fumiguen sus cultivos con aparatos manuales como se muestra en la Figura 13, método que conduce a un elevado número de intoxicaciones anuales con un porcentaje alto de mortalidad.

Figura 13.- Método manual de fumigar un cultivo con plaguicidas utilizado muy frecuentemente por pequeños agricultores de países en desarrollo.



Los trabajadores agrícolas de los países en desarrollo, en los que las normas de sanidad suelen ser deficientes, son los que sufren la gran mayoría de las intoxicaciones

por plaguicidas. En estos países se dan el 99 % de las muertes por esta causa, aunque sólo se utilizan el 25 % de la producción mundial de estos compuestos¹⁴⁷. Debido a que tanto los cultivos Bt, como los cultivos tolerantes a herbicidas permiten una reducción importante de la cantidad de productos químicos necesarios para obtener buenas cosechas (véase Tabla 8), se ha constatado una reducción importante en las intoxicaciones de agricultores. Por ejemplo, en China, en los años 2002-2003 se redujeron los envenenamientos de agricultores en un 70% en cultivos de algodón Bt, y en un 8% en cultivos de arroz Bt¹⁴⁸.

3.5.3.- Reducción del uso de plaguicidas

La Tabla 8 recoge ejemplos de la reducción de la cantidad de plaguicidas en cultivos transgénicos. Llama la atención la diferencia tan grande en la reducción que se observa entre los cultivos Bt (resistentes a insectos) y los tolerantes a herbicidas. Los cultivos tolerantes a herbicidas le permiten al agricultor modificar sus prácticas agronómicas reduciendo considerablemente el número de aplicaciones de herbicida por temporada, como se explica a continuación. Por el contrario, los insecticidas de contacto (por fumigación) no son muy efectivos para el control de insectos que se protegen en el interior de la planta. Si la infestación no es muy grande, el agricultor prefiere soportar las pérdidas sin el gasto añadido de un producto que le dará una protección baja.

Las plantas transgénicas tolerantes a herbicidas facilitan la utilización de técnicas agronómicas de bajo laboreo (Figura 14). No es necesario labrar el campo antes de la siembra, pudiéndose realizar ésta sobre los rastrojos de la cosecha anterior. Cuando las semillas germinan y las plantas comienzan a crecer se aplica el herbicida para eliminar todas las hierbas no deseadas sin que el cultivo resulte afectado. Esto reduce muy considerablemente la erosión de la capa superior del suelo, aumentando su materia orgánica, nutrientes y los microorganismos beneficiosos¹⁴⁹.

Tabla 8.- Reducción de productos fitosanitarios utilizados en cultivos transgénicos

Cultivo	País y año	Reducción	Referencia
Maíz Bt	EEUU - 2003 EEUU - 2006	1.9 millones de kg 3.4 millones de kg de materia activa*	Informe NCFAP de 2008**
Arroz Bt	China - 2002/2003	80% de insecticidas	Huang y cols. Science 308, 688, 2005.
Algodón Bt	India - 2001 EEUU - 2001	70% insecticidas 1.5 millones de kg de materia activa	Qaim y Zilbermann, Science 299, 900, 2003. Gianessi & Carpenter, http://www.ncfap.org
	EEUU - 2003	1.6 millones de kg de materia activa	http://www.ncfap.org/whatwedo/biotech-us.php
	China - 2002-2003	43% insecticidas	Hossain y cols. Int. J. Occup. Environ. Health 10, 296, 2004.
Maíz tolerante a herbicidas	EEUU - 2006	31.1 millones de kg de materia activa	Informe NCFAP de 2008**
Soja tolerante a herbicidas	EEUU - 2006	11.55 millones de kg de materia activa	Informe tolerante NCFAP de 2008**
Algodón tolerante a herbicidas	EEUU - 2006	12.2 millones de kg de materia activa	Informe NCFAP de 2008**
Todos los cultivos transgénicos	EEUU - 2006	55 millones de kg de materia activa	Informe NCFAP de 2008**
Todos los cultivos transgénicos	global, 1996-2007	359.000 toneladas	Situación mundial de la comercialización de cultivos transgénicos 2008 http://www.isaaa.org

* El producto que se fumiga en el campo contiene muchos compuestos diferentes. El principal es el "compuesto activo", o "materia activa", que es el responsable de la acción plaguicida. Este compuesto suele estar disuelto en un disolvente apropiado y puede llevar también otros compuestos para facilitar su aplicación según el tipo de maquinaria que se utilice. La cantidad de materia activa es, en general, un pequeño porcentaje del total del producto comercial.

** Página web:

http://www.ncfap.org/documents/2007biotech_report/Quantification_of_the_Impacts_on_US_Agriculture_of_Biotechnology_Executive_Summary.pdf

Figura 14.- Maíz tolerante a herbicidas sembrado sobre los rastrojos de la cosecha del año anterior.



La reducción del laboreo ha sido un beneficio inesperado de los cultivos tolerantes a herbicidas, y se ha extendido rápidamente entre los agricultores que los utilizan. En 2004, aumentó un 64% la superficie cultivada con soja tolerante a herbicidas utilizando técnicas de bajo laboreo, lo que correspondió al 58% de los agricultores que sembraron este tipo de cultivo¹⁵⁰. El cultivo del algodón requiere una elevada cantidad de diversos insecticidas y plaguicidas, por lo que en este cultivo se suelen observar las reducciones más significativas de estos compuestos.

Como resultado de la menor necesidad de plaguicidas, también se ha constatado una importante reducción de la cantidad de combustible sobre todo en grandes explotaciones en las que las fumigaciones se llevan a cabo con tractores o avionetas. El ahorro en combustible puede llegar hasta el 60% por hectárea y año, con la consiguiente reducción en emisiones de gases de invernadero. Como recoge el Informe del Grupo Europeo de Ética de la Ciencia y Nuevas Tecnologías¹⁵¹, en los 10 primeros años de cultivos transgénicos comercializados (1996-2006), la agricultura biotecnológica redujo el uso de plaguicidas en 286 millones de kg de sustancia activa, y permitió la reducción de 14.800 millones de kg de CO₂, lo que es equivalente a eliminar 6,6 millones de coches durante 1 año (aproximadamente el 25% de los coches matriculados en el Reino Unido).

Las plantas tolerantes a herbicidas permiten el uso de herbicidas menos agresivos con el medio ambiente, como son el glifosato y el glufosinato, además de reducir el coste de producción y aumentar los rendimientos¹⁵². Estos compuestos se degradan fácilmente, por lo que el agua de escorrentía está mucho menos contaminada que cuando se utilizan otros herbicidas. Más adelante veremos que son menos dañinos para la biodiversidad animal. La contrapartida es que el uso del glifosato ha aumentado con-

siderablemente en los últimos 12 años, con el consiguiente aumento de especies resistentes a este compuesto¹⁵³, modificando las prácticas agronómicas en muchos casos para poder combatirlas.

3.5.4.- Aumento de la productividad

Las pérdidas, a nivel global, en el rendimiento de los cultivos por ataque de insectos pueden llegar hasta el 10 ó el 15%, aunque en países en desarrollo situados en el trópico las pérdidas pueden llegar hasta el 30%. Sin embargo, para muchos agricultores individuales, dependiendo de sus condiciones concretas, las pérdidas pueden estar entre el 50 y el 100% de la cosecha en condiciones de infestaciones severas¹⁵⁴.

El desarrollo de cultivos resistentes a insectos, tanto comestibles (maíz), como industriales (algodón), ha permitido reducir sustancialmente las pérdidas, sobre todo en casos de difícil control, bien porque el insecto ataca a la raíz de la planta, bien porque los estadíos más dañinos de los taladros se refugian en el interior del tallo de la planta (maíz) o en el capullo (algodón), como se puede ver en la Figura 9. La planta transgénica produce constantemente esta proteína, por lo que el agricultor no necesita esperar a observar la presencia de insectos nocivos (que ya habrían producido daños) para aplicar el método de control de su elección. Recordamos que esta bacteria se utiliza desde la década de 1930 para control de estas plagas agrícolas en formulaciones para fumigar (manual o mecánicamente) que contienen una suspensión de bacterias completas aunque no viables. Es uno de los pocos insecticidas autorizados por la agricultura ecológica, según hemos explicado. Antes de la introducción comercial de los cultivos transgénicos en 1996, sólo el 28% de los agricultores en Iowa y Minnesota utilizaban alguna forma de control químico contra estas especies taladradoras¹⁵⁵, debido a su poca eficacia.

Los cultivos resistentes a insectos, o "cultivos Bt", permiten al agricultor aumentar el rendimiento de la cosecha de maíz en un 10% por término medio en los Estados Unidos¹⁵⁶. Igualmente, el controvertido informe sobre los rendimientos de los cultivos transgénicos de la *Union of Concerned Scientists*¹⁵⁷ afirma que los rendimientos del maíz Bt pueden llegar a ser hasta un 10% mayores que los de las variedades convencionales, particularmente en condiciones de infestaciones fuertes. Así, en 2004 el aumento del maíz producido en EEUU fue de 49.000 Tm, debido al maíz Bt¹⁵⁸. En arroz se han publicado aumentos del 10% en China¹⁵⁹. El aumento de los rendimientos del cultivo del algodón Bt en países en desarrollo son espectaculares, alcanzando el 33% en Argentina¹⁶⁰, y el 25% en China¹⁶¹. Aunque el algodón no es un cultivo comestible, lo mencionamos porque permite a los agricultores aumentar

sus ingresos por lo que tiene un efecto muy positivo en la mejora de las condiciones de vida.

Como beneficio adicional y no esperado, los cultivos resistentes a insectos reducen la población del insecto diana correspondiente en los campos convencionales adyacentes al transgénico, reduciendo la necesidad de utilizar insecticidas químicos también en estas otras parcelas¹⁶².

El desarrollo de patatas resistentes a nematodos multiplica por dos la productividad alcanzada en Bolivia en pruebas de campo por pequeños agricultores, por lo que sería posible reducir la superficie dedicada al cultivo de la patata para poder dedicarla a la producción de otros alimentos necesarios¹⁶³.

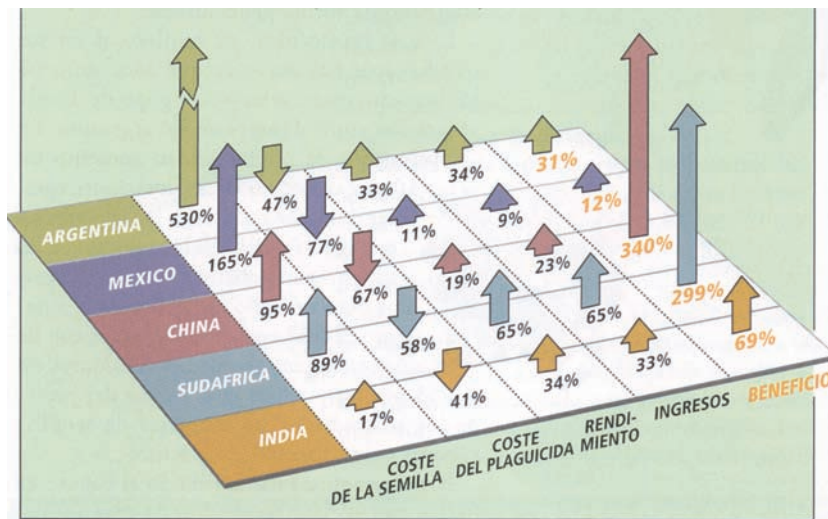
Las enfermedades víricas, contra las que no existen tratamientos convencionales eficaces, causan pérdidas habituales del 30 ó 40%¹⁶⁴, pudiendo llegar hasta el 80% de la cosecha en situaciones muy graves. Los cultivos transgénicos resistentes a virus permiten aumentar la productividad considerablemente. Así, el cultivo de la papaya en Hawaii estuvo a punto de desaparecer a finales de la década de 1980 por causa de una enfermedad vírica que se propagó rápidamente. La papaya transgénica resistente a este virus se introdujo a finales de la década de 1990 permitiendo la recuperación total de este cultivo. Actualmente, más del 50% de las papayas en Hawaii son transgénicas¹⁶⁵.

3.5.5.- Aspectos socioeconómicos

La rentabilidad económica es uno de nuestros pilares de la sostenibilidad (Capítulo 1) ya que un mayor nivel económico permite el desarrollo de las comunidades rurales. Como ya hemos dicho, de los 13.3 millones de agricultores que en 2008 sembraron cultivos transgénicos en todo el mundo, aproximadamente 12.3 millones fueron pequeños agricultores en países en desarrollo¹⁶⁶.

Numerosos estudios demuestran que la utilización de semillas transgénicas reporta mayores beneficios económicos a los agricultores, independientemente de la escala de la explotación, a pesar de que el coste de la semilla es mayor que el de las convencionales. Esta rentabilidad, aunque variable según los países, se deriva del ahorro del coste de los plaguicidas y del aumento del rendimiento (Figura 15)¹⁶⁷. La variabilidad en el precio de las semillas transgénicas en los diferentes países se debe a que los cultivos estén patentados o no. Así, en China la competencia de las semillas desarrolladas con dinero público local no permitió subir el precio de las patentadas.

Figura 15.- Rentabilidad económica de los cultivos transgénicos resistentes a insectos en varios países.



Tomado de Raney & Pingali. 2007. Artículo citado.

En España, el único país europeo que siembra algún cultivo transgénico (maíz resistente a insectos), el aumento de la rentabilidad media entre 2004 y 2006 supuso hasta 122 €/ha¹⁶⁸, lo que representó un 12% más que la rentabilidad del maíz convencional. Rentabilidades similares se han obtenido también en Sudáfrica para el maíz y el algodón resistentes a insectos. El informe del Grupo Europeo de Ética, ya citado, recoge que en 2006 los beneficios económicos globales totales debidos a los cultivos transgénicos representaron 4.500 millones de euros, siendo el 54% para los agricultores de países en desarrollo. En Europa, como en el resto del mundo, dos tercios de los beneficios debidos a los cultivos transgénicos se reparten entre los agricultores europeos y los consumidores (precios más reducidos), correspondiendo el tercio restante a los que desarrollan las semillas y las comercializan.

3.6.- Cuestiones abiertas sobre Aspectos Medioambientales

No es fácil estudiar los efectos a largo plazo que los cultivos transgénicos pueden tener sobre el medio ambiente por las razones siguientes:

- Se necesita conocer el estado del ecosistema en el que se introducirá el cultivo transgénico *antes* de su introducción (serían las *condiciones iniciales*, o básicas), para poder medir los cambios que hayan ocurrido después de la introducción del cultivo transgénico.
- Es necesario siempre tener en cuenta los efectos a largo plazo que se derivarían si se continuara con los cultivos y prácticas agronómicas tradicionales, proyección que con frecuencia se ignora suponiendo que no producirían daños.

Desde el punto de vista medioambiental, las cuestiones que se mencionan con más frecuencia son las siguientes:

1. Desarrollo prematuro de resistencia a la proteína Bt de los cultivos resistentes a insectos por parte de los insectos diana.
2. Efectos sobre la biodiversidad animal de los cultivos tolerantes a herbicidas y los cultivos resistentes a insectos.
3. Posibles efectos adversos relacionados con el flujo de genes a especies silvestres relacionadas con el cultivo transgénico.

3.6.1.- Desarrollo prematuro de resistencia a la proteína Bt en insectos diana

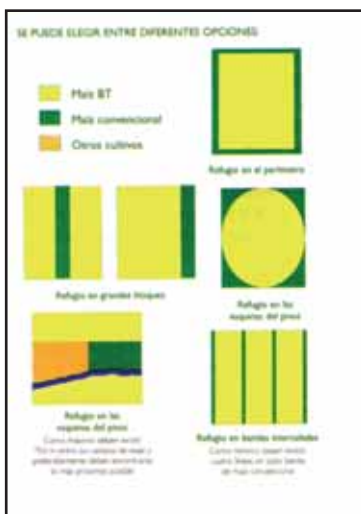
Es razonable pensar que el uso generalizado de la proteína Bt para control de los insectos diana inducirá el desarrollo de la resistencia a esta proteína en las especies de insectos expuestos a ella, lo mismo que ha sucedido en el pasado con los insecticidas químicos.

Por esta razón, para retrasar la aparición de insectos-plaga resistentes a la proteína Bt se están tomando diversas medidas:

- Establecimiento de "refugios", o zonas alrededor del campo transgénico que se siembran con el cultivo convencional (que no se trata con insecticida) para diluir la presencia del gen que confiere resistencia a la proteína Bt en las poblaciones de insectos diana (Figura 16). Es obligatorio para el agricultor y la empresa comercializadora de la semilla transgénica debe establecer un programa de seguimiento.
- Utilización de genes que codifican la proteína Bt procedente de diversas cepas: estas proteínas, aunque tengan el mismo efecto sobre el insecto diana, tienen estructuras algo diferentes por lo que el insecto diana está expuesto a diferentes compuestos¹⁶⁹.

Figura 16.- Tipos de refugios:

- superficie sembrada con maíz Bt;
- superficie sembrada con maíz convencional;
- superficie sembrada con otros cultivos.



De momento no se ha observado la aparición de insectos resistentes a la proteína Bt en situaciones de campo, aunque puede aparecer a un plazo medio.

3.6.2.- Efectos sobre la biodiversidad

La evaluación probablemente más exhaustiva de los efectos de los cultivos tolerantes al glifosato y al glufosinato sobre las malezas y la biodiversidad animal es el estudio conocido como "Farm Scale Evaluations" (evaluaciones a escala de explotación comercial) llevadas a cabo durante 4 años (1999 – 2003) por encargo del Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del Reino Unido¹⁷⁰.

Se cultivaron colza y maíz tolerantes a glufosinato y remolacha azucarera tolerante a glifosato, y los correspondientes cultivos convencionales, en 65 campos comerciales diferentes, realizándose un total de 283 ensayos de campo en condiciones comerciales, utilizando en cada caso las prácticas agronómicas más apropiadas a cada tipo de cultivo. Los resultados de este estudio se pueden resumir en dos conclusiones generales:

- La abundancia de invertebrados asociados a un determinado cultivo depende exclusivamente del régimen de herbicidas utilizados y no de que el cultivo sea transgénico o convencional: el maíz convencional (las malezas se controlan con

atrazina) resultó más dañino para la biodiversidad de invertebrados que el transgénico (se utiliza glufosinato como herbicida).

- Los cultivos transgénicos flexibilizan la gestión de las malezas ya que necesitan la tercera parte de las aplicaciones de herbicidas que los convencionales.

Es obvio que los efectos sobre la biodiversidad animal dependerán del tipo de cultivo transgénico y de sus prácticas agronómicas. Más arriba hemos mencionado la generalización de las técnicas de bajo laboreo con los cultivos tolerantes a herbicidas, con la consiguiente reducción de la erosión del suelo y el mejor desarrollo y mantenimiento de su ecosistema.

Los cultivos resistentes a insectos podrían resultar tóxicos también para otras especies de insectos contra los que no van dirigidos (insectos no diana). En 1999 se publicó un breve estudio de laboratorio en la prestigiosa revista *Nature* que indicaba que la proteína Bt era tóxica también para la mariposa monarca (insecto no diana)¹⁷¹. En los años siguientes se sucedieron 6 estudios de campo, en diferentes localidades, con la conclusión final de que la proteína Bt no dañaba a las poblaciones de estas mariposas¹⁷².

Posteriormente se han publicado muchos estudios dirigidos a determinar si la proteína Bt puede afectar, o no, con la conclusión generalizada de que esta proteína Bt sólo es tóxica para unas especies de insectos muy concretas. El Informe BEETLE (ya mencionado), en el que se examinan más de 700 publicaciones científicas sobre temas relacionados con cuestiones medioambientales, concluye que la mayoría de los estudios de laboratorio y de campo que se han revisado no revelaron ningún efecto inesperado adverso a largo plazo sobre organismos no diana. Una lección importante es que aunque se observaran efectos negativos en el laboratorio bajo condiciones extremas, no se han observado todavía efectos negativos en situación de campo.

Un meta análisis de 42 experimentos de campo indica que hay mayor abundancia de invertebrados (excepto los insectos diana) en campos de maíz y algodón Bt que en campos de estos cultivos convencionales gestionados con insecticidas químicos¹⁷³.

3.6.3.- Flujo de genes

El flujo de genes, a través de la polinización cruzada, entre especies de plantas sexualmente compatibles es un importante mecanismo de la evolución que permite a una planta adquirir características nuevas. El ser humano desarrolló la agricultura explotando este sistema natural para mejorar las plantas que le servían de alimento. Hoy día los cruzamientos controlados se siguen utilizando para pasar una(s) característica(s) deseada(s) de una planta a otra.

En el contexto del cultivo de plantas transgénicas en campo abierto se plantean las siguientes cuestiones:

- Hibridación entre la planta transgénica y una especie silvestre próximamente relacionada con ella:
 - ¿puede el híbrido convertirse en una planta invasora?,
 - ¿puede convertirse en una 'super-maleza' difícil de eliminar?

El impacto que la transferencia de una determinada característica de una planta transgénica a otra convencional (silvestre o cultivada) dependerá de que esa característica le confiera, o no, al híbrido una ventaja selectiva en el ecosistema en el que se encuentra. Así, un híbrido tolerante a un determinado herbicida sólo tendrá ventaja en aquellos ecosistemas en los que se utilice ese herbicida, pero será vulnerable en presencia de otro herbicida. Un híbrido tolerante a insectos tendrá mayores probabilidades de reproducirse en aquellos lugares en los que el insecto que tolera sea una plaga importante, pero no en otros.

En Europa existen especies silvestres próximamente relacionadas con la colza y la remolacha azucarera, según las regiones. El informe BEETLE mencionado concluye que en Europa la probabilidad de que se produzcan híbridos más persistentes se puede dar en el caso de estos dos cultivos transgénicos tolerantes a herbicidas. El control de estos híbridos se consigue aplicando un herbicida diferente, pudiendo ser más difícil únicamente cuando estén en ecosistemas en los que se aplica el herbicida que tolera el cultivo transgénico.

La posible facilidad que pudieran tener los cultivos transgénicos para invadir diferentes ecosistemas fue estudiada desde antes de su comercialización. En 1990, Crawley y colaboradores sembraron, en 12 ecosistemas naturales diferentes (no en parcelas agrarias) algunos cultivos transgénicos disponibles en aquel momento: colza y maíz tolerantes a glufosinato, remolacha azucarera tolerante a glifosato, y dos variedades de patatas resistentes a insectos, junto a los correspondientes cultivos convencionales. Cada año visitaron los cultivos para determinar su potencial invasivo con respecto a los cultivos convencionales. Comprobaron que para el 4º año habían desaparecido completamente todos los cultivos transgénicos y los convencionales excepto la patata no transgénica que se mantuvo, aunque cada vez con menor intensidad, hasta el 10º año. Estos investigadores concluyeron que las variedades vegetales domesticadas, transgénicas o convencionales, necesitan del cuidado humano para sobrevivir en el medio ambiente.

IV.- AGRICULTURA ECOLÓGICA Y VARIEDADES TRANSGÉNICAS, ¿SON INCOMPATIBLES? ALGUNAS SUGERENCIAS PARA LA REFLEXIÓN

Las normas jurídicas y directrices de diferentes autoridades, como hemos visto, han recogido en la última década la idea de INCOMPATIBILIDAD entre los principios de la agricultura ecológica y el uso de variedades transgénicas. Consideramos, sin embargo, que como consecuencia de ese rechazo frontal y sin matices, no queda espacio para reflexionar sobre lo que, en conjunto, pudieran ofrecer de cara al objetivo de la producción sostenible de los alimentos.

Desde las claves de lo que entendemos por alimentos más sostenibles expuestas en el Capítulo I, analizaremos algunas de las paradojas ante las que nos encontramos.

4.1.- El concepto de *natural* aplicado a los cultivos que nos sirven de alimento

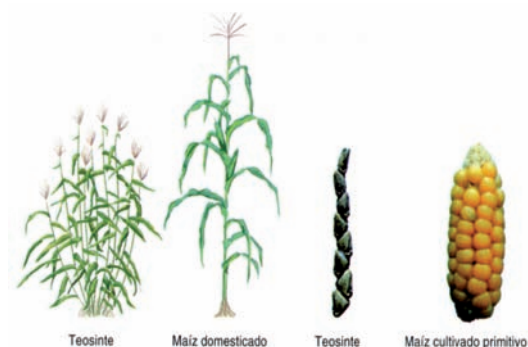
Como hemos indicado más arriba, para una gran mayoría de personas los cultivos ecológicos son *naturales* ya que está muy extendida la idea de que la naturaleza los ha hecho así. Este concepto también implica que son cultivos tradicionales, que datan de épocas anteriores a lo que algunas personas califican como "excesiva dependencia de la tecnología en la sociedad occidental", y que no están estandarizados para aumentar su productividad¹⁷⁵. La aplicación del calificativo "natural" a estos cultivos lleva implícito el rechazo del concepto de "aumento de la productividad" que, para muchos, indica una preocupación exclusivamente económica.

En nuestra opinión, la postura mantenida por la agricultura ecológica que considera que los cultivos modificados genéticamente no son *naturales* ignora completamente los siguientes aspectos importantes aplicables a todo tipo de agricultura:

- Los cultivos convencionales, desarrollados a lo largo de siglos desde el Neolítico, han sufrido profundas modificaciones en su genoma en el proceso de domesticación (Figura 17).
- Se consideran cultivos convencionales aquellos que se han desarrollado a partir de mutaciones inducidas (por radiación o tratamiento con productos químicos mutagénicos), hibridación de especies diferentes seguida del rescate de embriones, y mutaciones somaclonales en cultivos *in vitro*;
- Todas las plantas cultivadas que nos sirven de alimento no pueden vivir por sí mismas en la naturaleza durante mucho tiempo sin la intervención del ser humano, como ya hemos visto, porque en el proceso de domesticación se eliminaron

las características esenciales para sobrevivir en la naturaleza al adquirir las que las hacían aptas para el cultivo (figura 17):

Figura 17.- Diferencias fenotípicas entre el maíz y su antepasado, el teosinte, que son consecuencia de las profundas modificaciones introducidas en su genoma. Además de cambiar radicalmente la arquitectura de la planta, la espiga del teosinte es flexible para permitir que las semillas se dispersen, mientras que las del maíz quedan pegadas para permitir su recolección.

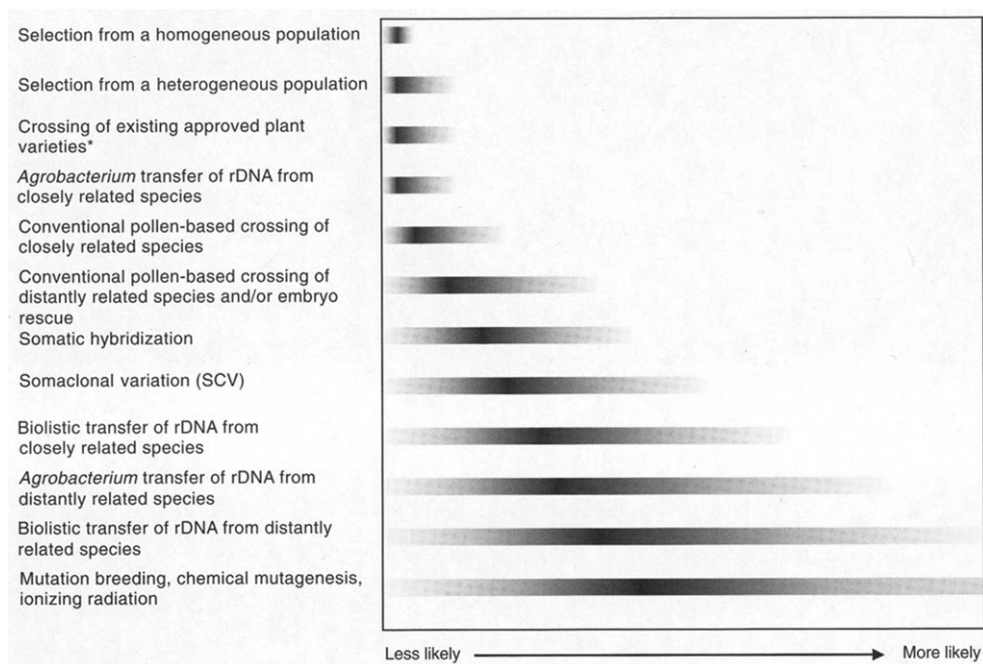


Algunos autores, tratando de dar una explicación para rechazar el uso de cultivos transgénicos en la agricultura ecológica, afirman que el concepto de *naturalidad* implica la integridad de la planta como tal¹⁷⁷, entendiéndose que se refiere a la integridad de su genoma. Sin embargo, el genoma de los cultivos convencionales está profundamente modificado, según expondremos a continuación. Como ejemplo, Ammann menciona, en la referencia citada, que solamente en las variedades más frecuentemente cultivadas de trigo (utilizadas también en la agricultura ecológica) se han caracterizado 58 reorganizaciones cromosómicas principales. En la mayor parte de los cultivos se han caracterizado varias inversiones y translocaciones cromosómicas, además de duplicaciones del número de cromosomas. Ya hemos indicado que, con demasiada frecuencia, se ignora la profunda reestructuración del genoma de los cultivos modernos convencionales a lo largo de los siglos.

Recientemente se han publicado estudios en profundidad del genoma de las plantas obtenidas por cruzamientos clásicos, por mutagénesis inducida, y por técnicas de ingeniería genética. Para ello se han utilizado técnicas de transcriptómica (análisis del conjunto de genes que se expresan, o están activos, en un momento dado) y de metabolómica (análisis del conjunto de metabolitos presentes en una célula o en un órgano, en un momento dado). Varios autores han comparado, por una parte, distintas variedades de arroz, o de trigo, convencionales entre sí, y, por otra, la variedad transgénica con la convencional a partir de la

cual se obtuvo¹⁷⁸. La Figura 18 resume la extensión de las modificaciones génicas que se introducen en el genoma de una planta mediante las diferentes técnicas.

Figura 18.- Magnitud de las modificaciones génicas introducidas por las diferentes tecnologías convencionales y transgénicas. (tomado de: Committee on Identifying and Assessing unintended effects of genetically engineered foods on human health. 2004. *Safety of Genetically Engineered Foods*. National Academies Press. pg. 64)



De arriba a abajo:

- Selección a partir de una población homogénea.
- Selección a partir de una población heterogénea.
- Cruzamiento entre variedades de plantas autorizadas existentes.
- transferencia de genes mediada por el *Agrobacterium* entre especies próximamente relacionadas.
- Cruzamiento convencional por polinización entre especies próximamente relacionadas.
- Cruzamiento convencional por polinización entre especies distantes con o sin rescate de embrión.

- Hibridación somática.
- Variación somaclonal (SCV).
- Transferencia de genes mediante la pistola de genes entre especies próximamente relacionadas.
- Transferencia de genes mediada por el *Agrobacterium* entre especies distantes.
- Transferencia de genes mediante la pistola de genes entre especies distantes.
- Mutagénesis inducida por productos químicos o por radiaciones.

En todos los casos se ha confirmado que las alteraciones en el genoma de plantas convencionales obtenidas por cruzamientos clásicos y por mutagénesis inducida son mucho más profundas que las de esas mismas plantas transformadas por técnicas de ingeniería genética. Es decir, dos variedades diferentes de un cultivo convencional obtenido por hibridación clásica (recordamos que en una hibridación se combinan, al azar, los dos genomas completos de los organismos parentales) tienen más diferencias genómicas entre sí que una variedad convencional y la transgénica derivada de ella.

Con estos datos en la mano no podemos evitar concluir que tan naturales, o tan artificiales, son las plantas transgénicas como las convencionales, y, por tanto, las ecológicas.

4.2.- Mejora convencional de los cultivos

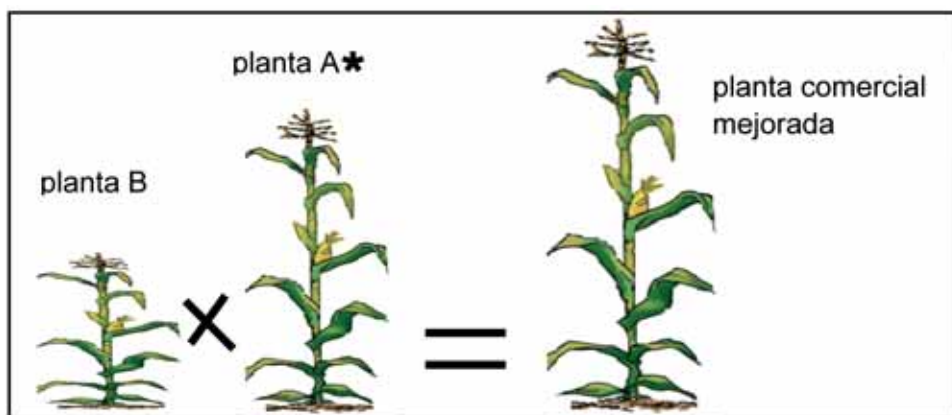
La historia de la agricultura suele resumirse como un proceso en el que dos motores, dos grandes objetivos, han guiado los avances científico-tecnológicos. De una parte, el facilitar la tarea de quienes se dedican a la agricultura y a la ganadería, mediante el desarrollo, por ejemplo de herramientas. De otro, el aumento del rendimiento, buscando una mayor productividad con, a poder ser, menor coste. La búsqueda de una mejora de las variedades vegetales y animales ha sido uno de los medios con el que se ha querido contribuir al segundo de los objetivos citados.

Los métodos convencionales para la mejora de los cultivos son todos aquellos que no implican la utilización de la ingeniería genética. Las semillas que utiliza la agricultura ecológica son las producidas por métodos convencionales.

Para poder mejorar cualquier cultivo por métodos convencionales es necesario disponer de una planta que posea alguna característica interesante y que sea sexualmente compatible –total o parcialmente– con la que se desea mejorar. A continuación explicamos brevemente cómo se puede conseguir que una planta convencional adquiera esa característica de interés. En nuestra opinión, es muy importante entender cómo se mejora una planta por técnicas convencionales para poder apreciar en su justa medida cómo se mejoran los cultivos mediante la ingeniería genética.

Todas las tecnologías de producción de variedades comerciales de cultivos, tanto las tecnologías convencionales como las transgénicas, utilizan en algún momento la *hibridación*, es decir, el cruce sexual entre dos plantas compatibles, para pasar una determinada característica de una planta A a otra planta B (Figura 19). La diferencia entre las tecnologías convencionales y las transgénicas está exclusivamente en cómo se introduce la característica deseada en la planta A.

Figura 19.- Hibridación de una planta que porta la característica deseada (planta A) con la planta que se desea mejorar (planta B).



* característica introducida por:

- Métodos convencionales: mutaciones de todo tipo, variaciones somaclonales, tratamientos con colchicina, fusión de células (protoplastos), etc.
- Ingeniería genética (transgénesis).

En los cultivos convencionales la característica deseada se puede introducir utilizando una, o varias, de las siguientes metodologías:

- Mutaciones espontáneas¹⁷⁹ que con frecuencia se reconocen en las prácticas agronómicas. Pueden ocurrir por diversos mecanismos cuya explicación excede el ámbito del presente trabajo. Por ejemplo, una coliflor naranja (con mayor concentración de β -caroteno) (Fig. 20A) se ve muy fácilmente en el campo; o un maíz que desarrolla tolerancia a un herbicida concreto frecuentemente utilizado se identifica al tratar el campo con ese herbicida porque sobrevive.

- Mutaciones inducidas utilizando cualquiera de estos métodos:
 - Radiaciones ionizantes: los rayos γ o los rayos X son los que se utilizan más frecuentemente. La figura 20B muestra un pomelo rosa intenso, variedad *Rio Star*, obtenido por irradiación (acumula β -caroteno), y una variedad de pomelo no irradiada. *Rio Star* se consiguió irradiando con neutrones térmicos la variedad *Star Ruby* que, a su vez, se obtuvo también por irradiación de una variedad que apareció espontáneamente en Texas en 1929. *Rio Star* se comercializó en 1984¹⁸⁰.
 - Tratamientos con productos químicos mutagénicos. La Tabla 9 recoge los tratamientos mutagénicos (irradiación o productos químicos) más frecuentemente utilizados con algunos ejemplos de variedades obtenidas.
 - Radiaciones cósmicas y ausencia de gravedad. Desde hace más de 20 años se han enviado semillas al espacio¹⁸¹. En 2005, China había obtenido más de 50 variedades nuevas y había aprobado el cultivo a gran escala de 43 de estas especies. En aquel momento estaba desarrollando unas 200 más. Declaran que el contenido vitamínico de estas variedades es casi 300 % del que tienen las variedades sin enviar al espacio. Recientemente han obtenido por este método variedades de hortalizas gigantes (Fig. 20C: hortalizas del espacio).
 - Variaciones somaclonales. Son mutaciones que aparecen en las células y tejidos vegetales cultivados *in vitro*. La presencia de diferentes compuestos químicos en el medio de cultivo durante la adaptación de las células vegetales a las condiciones del cultivo *in vitro*, la inducción de la formación del callo, la formación de embriones y regeneración de la planta inducen la aparición de mutaciones que en muchos casos son útiles y heredables¹⁸².
- Alteración del número de cromosomas, aparecido espontáneamente, o inducido por tratamientos con determinados compuestos químicos como el alcaloide colchicina (Fig 20D: flor de colchico). Ejemplo: la sandía sin pepitas es fruto del cruce de una planta diploide (2 juegos de cromosomas; planta normal) con otra tetraploide (4 juegos de cromosomas) obtenida por tratamiento con colchicina¹⁸³.
- Hibridación somática, o fusión de protoplastos, para la obtención de plantas poliploides¹⁸⁴.
- Hibridación forzada de especies diferentes seguida del rescate del embrión no viable naturalmente y posterior desarrollo de la planta mediante técnicas de cultivo *in vitro*.

Como resultado, el genoma de la planta se modifica y altera, espontáneamente en unos pocos casos o artificialmente en todos los demás, aunque ninguna de estas técnicas sea la ingeniería genética. En la naturaleza se dan las mutaciones espontáneas (por diversos mecanismos), la duplicación de cromosomas, y muy ocasionalmente la hibridación entre especies diferentes, pero ninguna de las otras.

Figura 20: variedades de hortalizas y frutas obtenidas por mutaciones diversas (A – C), y flor de colchico (D).



A.- Mutación espontánea: Coliflor naranja



B.- Mutación inducida por radiación: Pomelo variedad Río Star



C.- Mutación inducida por radiación cósmica y microgravedad: Calabazas del espacio



D.- Flor de colchico de la que se extrae la colchicina.

En 1928 Stadler publicó en la revista Science la obtención de mutantes de cebada al someter las semillas a tratamientos con rayos-X y con el elemento radio, descubierto hacía unos años¹⁸⁵. A partir de entonces, muchos profesionales dedicados al desarrollo de nuevas variedades de cultivos han utilizado, y utilizan, cualquiera de estas técnicas (principalmente la irradiación) para obtener mutaciones que dieran lugar a características deseables. Posteriormente, las características deseables se transfieren por hibridación sexual a las variedades cultivadas de interés¹⁸⁶.

Las características más frecuentemente desarrolladas por mutaciones inducidas son: arquitectura de la planta (tamaño, sobre todo enanismo), madurez, resistencia a enfermedades y plagas, resistencia a los factores abióticos como sequía y salinidad, modificación del perfil de ácidos grasos del aceite y aumento del contenido de aceite, tamaño y calidad de los gránulos de almidón, mejora de la calidad del malteado, etc

La FAO ha desarrollado un programa conjunto con la Agencia Internacional de Energía Atómica¹⁸⁷ para asistir a los países miembros en el uso de técnicas nucleares y otras biotecnologías relacionadas con el fin de mejorar el desarrollo de estrategias de seguridad alimentaria sostenibles. En su base de datos se recogen casi 2600 variedades de cultivos, de los que el 25% corresponde a plantas ornamentales. Entre las 175 especies mejoradas por estas técnicas se incluyen especies de gran importancia económica mundial como el arroz, el trigo, la cebada, el algodón, el garbanzo, la colza, el girasol, el plátano, el sésamo, el sorgo, el cacahuete, pera y el pomelo. Como se indica en la página web mencionada, en la base de datos sólo se recogen aquellas variedades que sus productores han comunicado, voluntaria y expresamente, que se han obtenido por mutaciones inducidas. Es razonable pensar que el número total de variedades de cultivos obtenidos por mutaciones inducidas es considerablemente superior a los que aparecen en la base de datos, puesto que es probable que no se comunique cómo se han obtenido muchos cultivos para evitar rechazos.

Tabla 9.- Tratamientos mutagénicos utilizados para obtener nuevas variedades comerciales.

Tratamiento ^a	Algunos ejemplos
Radiaciones rayos ^a rayos X neutrones radiaciones sin especificar	arroz Calrose76 avena Alamo-X, alubias Seafarer, alubias Seaway pomelos Rio Red, Star Ruby; trigo Lewis. maíz Clearfield (resistente a herbicidas); pera japonesa resistente a enfermedades; colza comestible (bajo erúico y bajo glucosinolatos)
Compuestos químicos etilmetano-sulfonato azida sódica colchicina y cruzamientos interespecíficos colchicina	lechuga IceCube, MiniGreen trigo Above triticale sandía sin pepitas
Variaciones somaclonales y gametoclonales ^b	tomate, pimiento

^a AM Van Harten. 1998. "Mutation Breeding: Theory and Practical Applications". Cambridge University Press, pg. 20

^b Chrispeels & Sadava, 2003. Obra citada.

En el reciente análisis de la base de datos de la FAO/IAEA realizado por Ahloowalia y colaboradores, más del 70% de las variedades obtenidas se comercializaron directamente, por multiplicación directa de la planta individual mutante seleccionada. El resto se obtuvieron mediante cruzamientos entre la planta individual mutante y otras variedades comerciales¹⁸⁸. La irradiación se utilizó en el 89% de los casos, siendo los rayos gamma utilizados para desarrollar el 64% de variedades, mientras que los rayos-X se utilizaron en el 22%.

Literalmente millones de plantas obtenidas por alguno de estos métodos se siembran cada año para seleccionar las que tienen las características deseadas. Por ejemplo, en los laboratorios de Carlsberg en Copenhague, en 1995, el equipo investigador del Dr. D. von Wettstein analizó 18.5 millones de plantas de cebada obtenidas por tratamientos mutagénicos para seleccionar la que no producía el enturbiamiento de la cerveza al enfriar ("chill haze")¹⁸⁹.

La agricultura ecológica acepta todas estas técnicas de obtener variedades nuevas excepto la ingeniería genética, como ya hemos mencionado. Como ejemplo, transcribimos la etiqueta de un paquete de harina de triticale de la explotación ecológica *Bob's Red Mill Natural Foods* (en Milwaukie, Oregon, EEUU) que dice: "El triticale es un cereal híbrido –un cruce entre trigo y centeno. Por término medio, tiene un 28% más proteína que el trigo y contiene todos los aminoácidos esenciales, resultando así ser una fuente más completa de proteína que sus progenitores. Tiene un interesante sabor a frutos secos y alta concentración de fibra. Como la Harina de Triticale ha heredado las mejores cualidades de sus progenitores –trigo y centeno- y tiene un delicioso sabor, necesita que tú lo descubras, ahora mismo". La etiqueta no indica que se ha producido utilizando la colchicina, y que el trigo y el centeno en la naturaleza no se pueden cruzar¹⁹⁰.

Las variedades obtenidas por tratamientos mutagénicos convencionales se han comercializado no sólo en países occidentales como Estados Unidos, Canadá, numerosos países europeos, Japón y Australia, sino también en muchos países en desarrollo como China, India, Pakistán, y otros países asiáticos (revisión de Ahloowalia, citada más arriba). Ninguna de estas variedades, ni los alimentos obtenidos de ellas, se etiquetan como "obtenida por mutagénesis inducida".

Como mencionaremos seguidamente, hasta el momento presente no ha existido, ni existe, ninguna ley que obligue a evaluar estos cultivos antes de su comercialización, ni desde el punto de vista de la inocuidad para el ser humano, ni desde el punto de vista del medio ambiente.

4.3.- La evaluación de los alimentos no transgénicos antes de su comercialización

Para los consumidores, en cualquier país del mundo, la inocuidad es el atributo principal de los alimentos. La preocupación de que los alimentos convencionales obte-

nidos con un uso, en muchos casos excesivo, de plaguicidas químicos tuvieran concentraciones inaceptables de estos compuestos ha impulsado recientemente la demanda de alimentos ecológicos, sobre todo en los países más ricos del mundo. Está muy generalizada la creencia de que los alimentos ecológicos son significativamente más saludables y más inocuos que los convencionales, y un elevado número de consumidores está dispuesto a pagar precios considerablemente más altos por ellos. Según una noticia publicada en *El Mundo* recientemente¹⁹¹, el mercado global de los alimentos ecológicos supuso en 2007 34.300 millones de euros (unos 48.000 millones de dólares).

Sin embargo, los cultivos y alimentos ecológicos no se someten a ninguna evaluación de su inocuidad para los consumidores (ni para el medio ambiente), ni se comprueban sus supuestas características nutricionales, antes de su comercialización. Hasta donde alcanza nuestro conocimiento, no existe ninguna disposición legal en ningún país del mundo que obligue a evaluar los cultivos y alimentos ecológicos, ni siquiera los considerados convencionales desde ningún punto de vista, ni nutricional, ni medioambiental, ni agronómico.

La obligación de evaluar los alimentos transgénicos antes de su comercialización pero no los ecológicos (ni los convencionales) indica que el proceso por el que se ha obtenido un cultivo se considera que es lo que determina las características del mismo. Sin embargo, esto no es así. Hemos expuesto más arriba que las modificaciones introducidas por procedimientos no transgénicos en el genoma de las plantas que nos sirven de alimento son, en general, más extensas que las introducidas por ingeniería genética. Esto nos indica que el producto final es lo que realmente importa, puesto que es lo que sirve de alimento a las personas. Consideramos que, si se evalúan los transgénicos, ciertamente se deben evaluar también los otros. Los consumidores tienen derecho a recibir una información veraz sobre los alimentos que se ofrecen a la venta, producidos por cualquiera de los procedimientos actualmente en uso.

Las empresas que desarrollan las semillas evalúan, obviamente, los aspectos agronómicos para asegurarse de que el cultivo crecerá bien en aquellas condiciones para las que se ha desarrollado. En la literatura científica hemos encontrado algunas referencias a varios cultivos convencionales que tuvieron que ser retirados del mercado por presentar problemas para los consumidores o los agricultores. La patata Lenape, introducida en 1967, contenía menos azúcares, más sólidos, y mejores propiedades para hacer patatas fritas comerciales tipo "chips"¹⁹², y era resistente al ataque de algunos insectos (se obtuvo por cruzamiento con una especie silvestre de los Andes peruanos)¹⁹³. Casi inmediatamente después de su comercialización se comprobó que tenía elevados niveles de glucoalcaloides¹⁹⁴, que son las toxinas naturales de las patatas. A pesar de su toxicidad, esta variedad de patata se utilizó para desarrollar otras 13 variedades¹⁹⁵.

En 1981 y 1982 se comercializaron unas variedades de calabacines que resultaron tener elevadas concentraciones de cucurbitacina, una sustancia tóxica para las células,

que puede causar severas diarreas y fuertes dolores de vientre¹⁹⁶. Al final de la década de 1980 se introdujo una variedad de apio con alta resistencia al ataque de insectos (desarrollada por cruzamiento con una especie silvestre) que causaba serios problemas dermatológicos a las personas que lo manipulaban (durante la recolección, envasado y comercialización)¹⁹⁷. Se comprobó que la nueva variedad tenía una elevada concentración de psoralenos, compuestos mutagénicos que aumentan considerablemente la sensibilidad de la piel a la luz, por lo que pueden causar dermatitis si las concentraciones son elevadas.

Aunque no se indica en ningún sitio que estos cultivos fueran ecológicos, todos se obtuvieron por hibridación (método aceptado también por la agricultura ecológica) entre variedades silvestres y las variedades comerciales de interés. En todos los casos resultaron tóxicos para las personas, hecho que se comprobó, sin excepción, después de su comercialización y venta al público.

Recogemos a continuación algunos aspectos relacionados con la calidad de los alimentos ecológicos.

4.3.1.- Residuos de plaguicidas de síntesis química en alimentos

Debido a que la agricultura ecológica no utiliza plaguicidas químicos de síntesis (aunque sí utiliza productos químicos como se ha indicado más arriba), las concentraciones de plaguicidas químicos en los alimentos ecológicos son significativamente inferiores a las que se encuentran en alimentos convencionales, como se recoge en el informe de la EFSA publicado en Junio de 2009¹⁹⁸. En él se recogen datos de 74.305 productos alimenticios de todos los países de la Unión, en los que se analizaron 218 pesticidas diferentes. Los niveles máximos autorizados de pesticidas en la Unión Europea son los mismos para todo tipo de alimentos, ecológicos, convencionales, o transgénicos.

Aunque específicamente no se han estudiado en este informe los alimentos ecológicos, algunos países han proporcionado datos sobre la concentración de pesticidas en estos alimentos. De 2900 productos ecológicos analizados (cereales, frutas y hortalizas, y productos procesados), el 1.24% tienen un nivel de residuos de pesticidas superior al máximo permitido, mientras que este nivel se sobrepasa en el 3.99% de los alimentos convencionales (71.400 analizados en total)¹⁹⁹. El 4.21% de los alimentos ecológicos procesados sobrepasan los límites autorizados, mientras que sólo el 0.62% de los cereales ecológicos y el 1.09% de las frutas y hortalizas tienen niveles superiores a los autorizados.

Es de destacar en el informe de la EFSA que el nivel de pesticidas encontrado en el 96.01% de los todos los alimentos analizados está por debajo de los límites máximos autorizados, probablemente debido a que las condiciones de empleo de los pesticidas se determina con gran rigor y sus concentraciones en alimentos se monitorizan

estrictamente. Por esta razón, el Director Ejecutivo de la FSA del Reino Unido, a propósito del recientemente publicado estudio comparativo de las propiedades nutricionales de los alimentos ecológicos y convencionales, ha declarado en agosto de 2009 que "el uso de pesticidas en la producción de alimentos tanto convencional como ecológica no presenta un riesgo inaceptable para la salud humana y contribuye a asegurar un suministro abundante de alimentos durante todo el año"²⁰⁰. Por esta razón, en el estudio comparativo mencionado no se han analizado los niveles de pesticidas ni en los alimentos ecológicos ni en los convencionales.

Otros autores²⁰¹ han encontrado menores niveles de plaguicidas en alimentos ecológicos que en los convencionales, aunque en ambos casos las cantidades estaban muy por debajo de las autorizadas.

4.3.2.- Concentraciones de compuestos de interés nutricional

Con frecuencia los agentes sociales, incluidos los medios de comunicación, políticos, representantes de asociaciones de consumidores, y ONGs entre otros, basándose sobre todo en el hecho de que la agricultura ecológica no utiliza productos químicos de síntesis, se refieren a los alimentos ecológicos como "*de alta calidad nutritiva*", implicando que los alimentos obtenidos por métodos convencionales no tienen el mismo nivel de calidad. Sin embargo, los datos científicos que puedan avalar esta percepción generalizada de bondad e inocuidad son más bien escasos.

El Reglamento europeo y el Departamento de Agricultura de Estados Unidos –responsable del Programa Nacional Orgánico, como ya hemos dicho– señalan que la calificación de ecológico no dice nada sobre sus propiedades nutricionales sino sólo sobre su método de producción.

MD Raigón, en su libro "Alimentos ecológicos, calidad y salud" claramente indica que los resultados de los análisis comparativos de la concentración de determinados nutrientes de alimentos obtenidos mediante sistemas de producción ecológicos y convencionales son altamente variables y contradictorios²⁰². Esto es debido principalmente a los numerosos factores que influyen en la concentración de nutrientes y compuestos sápidos, como la variedad del cultivo, la climatología en los lugares de producción, el suelo, el estado de madurez, el transporte y el almacenamiento, etc.

La única forma válida de estudiar las posibles diferencias en las concentraciones de cualquier compuesto es conociendo exactamente los métodos de producción para asegurar la condición de ecológico²⁰³. Para ello, los alimentos convencionales y los ecológicos (mismas variedades) deben ser cultivados en parcelas de suelo semejante mediante prácticas agronómicas convencionales o ecológicas, según los casos.

A finales del mes de julio del presente año, la *Food Standards Agency* (FSA) del Reino Unido ha publicado una extensa revisión bibliográfica de la literatura científica

publicada en inglés sobre el distinto contenido de nutrientes y otros compuestos y los diferentes efectos para la salud que los alimentos ecológicos se supone que ofrecen frente a los alimentos convencionales²⁰⁴. Este estudio comparativo incluye 162 artículos publicados en los últimos 50 años en revistas científicas con evaluadores externos (un total de 3558 comparaciones abarcando 137 cultivos) y que cumplen los estrictos criterios de calidad especificados para aceptar sus resultados, entre otros, una clara definición de las prácticas agrícolas ecológicas²⁰⁵. Teniendo en cuenta todos los resultados seleccionados, el estudio estadístico del conjunto de los datos indica que no existen diferencias significativas entre los cultivos ecológicos y los convencionales en el contenido de los siguientes nutrientes y otros compuestos: vitamina C, calcio, fósforo, potasio, sólidos solubles totales, acidez titulable, cobre, hierro, nitratos, manganeso, cenizas, proteínas específicas, sodio, polisacáridos vegetales no digeribles (fibra), β -carotenos, y azufre. Cuando se incluyen en el meta análisis únicamente los resultados de los artículos que cumplen unos criterios de calidad todavía más restringidos, se encontraron las siguientes diferencias: los cultivos convencionales tienen niveles más altos de nitrógeno, mientras que en los ecológicos la concentración de fósforo y el nivel de acidez titulable son superiores²⁰⁶.

El resumen ejecutivo claramente indica que existen limitaciones en el diseño de los estudios comparativos publicados, pudiendo deberse las diferencias a diferencias en la gestión de los cultivos y/o a diferencias en la calidad de los suelos, y que las conclusiones están basadas en los datos disponibles en la actualidad. El Director Ejecutivo de la FSA resalta en su carta abierta referente a este estudio y publicada a raíz de las diversas interpretaciones aparecidas en los medios sobre los resultados del mismo que, "el mensaje importante de este informe no es que los consumidores deben evitar los alimentos ecológicos, sino que deben tener una dieta equilibrada y que, desde el punto de vista nutricional, no existen diferencias si la dieta equilibrada está compuesta de alimentos ecológicos o convencionales"²⁰⁷.

En nuestra opinión, este estudio de la FSA es el más riguroso de los que conocemos debido a su extensión y a los criterios de calidad en los que se han basado sus autores para incluir sistemáticamente, o no, resultados publicados en la literatura científica. Resaltamos que no se han incluido resultados difundidos en revistas (u otras publicaciones) sin evaluadores externos.

Existen también en la literatura científica revisiones recientes, más limitadas, en las que se comparan las concentraciones de determinados nutrientes en alimentos ecológicos y convencionales. Por ejemplo, investigadores daneses no encontraron diferencias significativas en el contenido de vitaminas, minerales y antioxidantes en hortalizas y manzanas de producción ecológica y convencional²⁰⁸. Estos autores realizaron estudios de alimentación en animales durante 2 años sin encontrar tampoco diferencias significativas en la asimilación de estos compuestos. Estudios similares en humanos indican que aunque los tomates ecológicos tenían un mayor contenido en vitamina C y polifenoles que los convencionales, no se encontraron diferencias significativas en los niveles de antioxidantes en plasma después de una ingesta de unos 100 g diarios de tomates y salsas de tomate ecológicos o de tomates convencionales durante 3 semanas²⁰⁹. En otro

estudio, los tomates ecológicos tuvieron una mayor concentración de sólidos solubles y acidez titulable en el zumo, aspecto importante para la fabricación de salsas. Tenían mejor sabor y textura que los convencionales, mientras que éstos últimos tenían mejor color y el zumo mantenía una mayor concentración de vitamina C y polifenoles después de su cocción en el microondas²¹⁰.

Magkos y colaboradores (artículo ya mencionado) concluyen que los alimentos ecológicos nitrofílicos (hortalizas de hoja ancha) contienen menores cantidades de nitratos que los convencionales, aunque en los no nitrofílicos no se encuentran diferencias significativas. La importancia, positiva o negativa, del contenido de nitratos para la salud humana sigue siendo discutida.

Como conclusión podemos decir que las diferencias en calidad nutricional entre los alimentos ecológicos y los convencionales no se deben exagerar, puesto que no están avalladas por datos científicos fiables. En algunos casos sí se ha observado que la concentración de alguna vitamina, o mineral, era superior en el cultivo ecológico que en el convencional, mientras que en otros casos ha sido al revés. Esto quiere decir, que la calidad nutricional de los cultivos ecológicos y de los convencionales es, en general, totalmente comparable, y no se puede generalizar diciendo que unos son más saludables que otros.

4.4.- Consecuencias del rechazo a los cultivos transgénicos y la responsabilidad hacia las generaciones presentes y futuras.

El rechazo a los cultivos transgénicos en Europa está teniendo consecuencias importantes en la actualidad entre las que podemos destacar:

- La pérdida de competitividad en la investigación en biotecnología vegetal siendo así que Europa fue pionera en este campo a comienzos de la década de 1980.
- El desplazamiento a Estados Unidos de los laboratorios de investigación de varias multinacionales.
- La pérdida de competitividad del sector agrario y ganadero en Europa.
- La influencia de la actitud europea en el retraso del desarrollo de la agricultura en África subsahariana, entre otros lugares.

Teniendo en cuenta la naturaleza de este trabajo comentaremos en más detalle los dos últimos.

4.4.1.- Pérdida de competitividad de los agricultores y ganaderos europeos

Debido al rechazo de los cultivos transgénicos, la productividad de la agricultura europea es en la actualidad un 15% menor que la estadounidense, a pesar de que en 1995,

el año anterior a la comercialización mundial de los cultivos transgénicos, ambas eran comparables²¹¹. Como consecuencia, en estos últimos meses se están alzando muchas voces en Europa denunciando este hecho que puede tener consecuencias muy negativas para la seguridad alimentaria en los países comunitarios. También el Grupo Europeo de Ética en Ciencia y Nuevas Tecnologías²¹² reconoce la necesidad de que la producción primaria europea de alimentos, fibra y piensos de origen vegetal sea competitiva en el mercado global y, por tanto, admite la necesidad de innovación en este sector. La pérdida de competitividad puede resultar en un abandono progresivo de las actividades agrarias con el consiguiente aumento de la importación de alimentos, y de sus precios. En definitiva, un aumento del porcentaje de la población con riesgo de tener una alimentación deficiente.

El informe de la FSA mencionado anteriormente, explica que las grandes cadenas distribuidoras están pagando hasta un 20% más por los alimentos que no contienen transgénicos. Aunque algunos estén autorizados en Europa, los productos que los incorporen en un porcentaje superior al 0.9% deben declararlo en la etiqueta²¹³, como ya hemos explicado. Considerando el rechazo de los consumidores y la presión de grupos ecologistas como Greenpeace y Amigos de la Tierra, han optado por no colocar estos alimentos en sus lineales²¹⁴.

En palabras del presidente de la *Asociación Agraria de Jóvenes Agricultores (ASAJA)* de España,

*"el bloqueo europeo de los organismos modificados genéticamente dejará a los agricultores comunitarios fuera del mercado mundial, sumidos en el absurdo de no poder cultivar dichas variedades, pero sí importarlos"*²¹⁵.

Como hemos indicado en la Tabla 4, en Europa sólo se puede cultivar maíz resistente a insectos, aunque se pueden importar para su utilización como alimento y piensos, soja, maíz, colza y remolacha azucarera.

Para el sector ganadero el problema principal es el nivel de "tolerancia cero" para cultivos transgénicos que están autorizados en otros países pero todavía no lo han sido en la Unión Europea. Debido a este desfase en los procesos de autorización en los diferentes países (llamado "autorización asincrónica"), las materias primas para la elaboración de piensos sólo pueden contener los cultivos transgénicos autorizados en Europa, rechazándose todos los envíos que contengan trazas de otros componentes no autorizados. Esto ha ocurrido ya varias veces, siendo el incidente del arroz LL601 del año 2006 el que tuvo mayor repercusión mediática, probablemente porque se detectó en arroz destinado al consumo humano. Teniendo en cuenta que en Europa el número de cultivos transgénicos es considerablemente inferior al de otros países, estas situaciones serán cada vez más frecuentes.

Como pone de manifiesto el informe *Política europea sobre la soja transgénica – umbrales de tolerancia y autorización asincrónica*²¹⁶, aunque esta cláusula afecta signi-

ficativamente a la industria alimentaria europea, el sector ganadero es el principal afectado porque depende en gran medida de la importación de soja como principal fuente de proteína para la producción de piensos. La utilización de fuentes alternativas de proteína, como los guisantes, o la soja sin contenido de transgénicos, sin duda resultarán en un aumento importante del coste de producción de carne, lo que tendrá repercusiones importantes en su accesibilidad a los sectores económicamente más débiles de la sociedad. La Comisión Europea reconoció hace dos años la contribución de esta cláusula al aumento de precios de alimentos y piensos, y a la pérdida de competitividad del sector ganadero europeo²¹⁷, sin que se haya hecho nada por subsanarlo.

El Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales del gobierno británico, país que importó 3 millones de toneladas de soja para alimentación animal de Brasil y Argentina en 2007-2008, calcula que el precio de la carne y productos cárnicos de aves podría aumentar un 20%, siendo previsiblemente mayor para el sector porcino²¹⁸. El secretario de Medio Ambiente británico instó a Bruselas a que se agilizará el proceso de autorización de estas variedades, afirmando que "si los OMG pueden hacer una contribución positiva, la sociedad ha de tener la opción de hacer uso de esta tecnología si, además, un número creciente de países apuesta cada año por estos productos"²¹⁹.

4.4.2.- *Influencia de la actitud europea anti-transgénica en el desarrollo de la agricultura en África*

El efecto del rechazo a los cultivos transgénicos en Europa trasciende sus fronteras afectando seriamente al desarrollo de la agricultura en países en desarrollo, principalmente en África, como defiende Paarlberg en su reciente libro *Starved for Science – How biotechnology is being kept out of Africa*. Este continente es el único que no se benefició de la Revolución Verde como se puede deducir de la tabla 10:

Como ya hemos comentado a propósito de la figura 2, África subsahariana es la única parte del mundo en la que el porcentaje de población subnutrida en 2003 se mantenía al mismo nivel que en 1969, lo que significa que el número de personas subnutridas en realidad ha aumentado considerablemente. La situación de la producción de alimentos en estos últimos años en África Subsahariana se puede resumir en las Tablas 11 y 12.

La productividad global de los cultivos en África ha ido progresivamente disminuyendo de manera que en 2005 era un 19% menor que en 1970²²⁰. Entre 1966 y 1970 el continente africano era globalmente exportador neto de alimentos, pero para finales de la década de 1970 importaba 4.4 millones de toneladas al año, y para 2002 África subsahariana importaba 19 millones de toneladas de alimentos (en grano y equivalentes de grano), de las cuales más del 15% llegaban en forma de ayuda humanitaria. La Tabla 12 recoge la productividad de cultivos de maíz en diferentes países de África y del mundo.

Tabla 10.- Porcentaje de tierras plantadas con semillas de alta productividad.

País	1970	1998
Sudamérica		
trigo	11	90
arroz	2	65
Asia		
trigo	19	86
arroz	10	65
África		
sorgo	0	26
mijo	0	14
mandioca	0	18

Tomado del Informe sobre Desarrollo Humano 2001 de las Naciones Unidas, *Poner el adelanto tecnológico al servicio del desarrollo humano*.

Tabla 11.- Algunos datos sobre el estado de la agricultura en África Subsahariana. Adaptada de R Paarlberg, (2008; obra citada).

	Africa	Europa	Estados Unidos
población que se gana la vida mediante la agricultura	aproximadamente el 70%	menos del 5%	menos del 5%
tamaño medio de las explotaciones agrícolas	el 80% tienen menos de 2 ha.	grandes extensiones	grandes extensiones
utilización de fertilizantes	menos de 9 Kg./ha.	117 Kg./ha.	117 Kg./ha.
mecanización	2 tractores/1.000 agricultores	Reino Unido: 900 tractores / 1.000 agricultores	
valor añadido por agricultor	(1998): \$ 370 y disminuyendo	Francia (1998): \$ 37.000 y aumentando	
ingresos medios de familias agricultoras	Kenia (2000): \$ 553 Zambia: \$ 122		mayor que los ingresos medios de familias no agricultoras (2007)

La baja productividad de la agricultura en África es el resultado de una variedad de factores entre los que podemos mencionar la utilización generalizada de utensilios agrícolas rudimentarios (por ejemplo, azadas y hoces), la tierra empobrecida y a falta de nutrientes que labran la gran mayoría de los agricultores pequeños, la imposibilidad de adquirir fertilizantes, plaguicidas y semillas mejoradas debido a su coste, la dependencia casi exclusiva de las lluvias para regar los cultivos, y el amplio uso de técnicas tradicionales sin mejorar por falta de los conocimientos agronómicos necesarios. Además de estos aspectos directamente relacionados con la agricultura, debemos mencionar la inestabilidad política y los conflictos periódicos, la epidemia del SIDA y la distorsión de los mercados internacionales por los subsidios y las tarifas en los países ricos²²¹.

Tabla 12 - Productividad media de cultivos de maíz en diferentes países en 2004. Datos tomados de M Demont & E Tollens (2004) *Annals of Applied Biology* 145, 197-207.

	AREA (Millones Ha)	%	Rendimiento (Ton/Ha)	Producción (Millones Ton)	%
Africa	26.0	18.7	1.6	42.6	7.0
Kenya (2005) ^a			1.6		
Malawi (2005) ^a			0.8		
Asia	43.1	31.0	3.8	163.8	26.8
Canadá	1.2	0.9	7.3	8.7	1.4
EU – 15	4.3	3.1	8.8	38.1	6.2
Austria	0.2	0.1	9.4	1.7	0.3
Bélgica-Lux.	0.0	0.0	10.6	0.4	0.1
Francia	1.8	1.3	8.6	15.2	2.5
Alemania	0.4	0.3	8.6	3.3	0.5
Grecia	0.2	0.2	9.3	2.0	0.3
Italia	1.1	0.8	9.4	10.1	1.6
Países Bajos	0.0	0.0	8.6	0.2	0.0
Portugal	0.2	0.1	5.8	0.9	0.1
España	0.5	0.3	9.5	4.3	0.7
Sudamérica	17.2	12.4	3.4	59.0	9.6
EEUU	28.7	20.6	8.5	244.4	10.0
Otros	18.6	13.4	3.0	55.2	9.0
Mundo	139.0	100.0	4.4	611.7	

^a Datos tomados de Paarlberg, 2008. *Starved for Science*. pg. 81.

Los agricultores pequeños de muchos países en desarrollo practican por obligación una forma de agricultura ecológica distinta de la que se practica en países ricos. Los rendimientos son demasiado bajos como para proporcionar material sobrante para devolver a la tierra. El ganado mal alimentado produce un estiércol de baja calidad que se utiliza como combustible, no como abono. Esto conduce a un empobrecimiento del suelo, seguido de su degradación rápida. Las plagas no se combaten efectivamente. Según R Labrada Romero, experto de la FAO en malezas, los pequeños agricultores africanos (el 80% de los cuales son mujeres y niños) necesitan un trabajo continuo diario para eliminar las malas hierbas, lo que significa que una familia no pueda físicamente manejar más de 1.5 ha²²² Como consecuencia de todo esto, los rendimientos de los cultivos son muy bajos²²³.

A esta baja productividad hay que añadir la subnutrición crónica por falta de las cantidades necesarias de vitaminas y minerales, el hambre oculta que hemos descrito antes.

Ya en 1999, el informe del Nuffield Council on Bioethics *El uso de los cultivos modificados genéticamente en países en desarrollo* concluía que:

"... basándonos en la evidencia disponible, existe un imperativo moral para hacer que los cultivos genéticamente modificados estén fácil y económicamente disponibles a aquellas personas en países en desarrollo que los quieran".

Y el informe de seguimiento que esta misma organización publicó en 2004 afirmaba:

".... Los cultivos transgénicos [genéticamente modificados] pueden contribuir a una mejora sustancial de la agricultura, en paralelo a los cambios, generalmente lentos, a nivel socio-político. Los cultivos transgénicos han demostrado su potencial para disminuir la degradación ambiental y para resolver problemas específicos de salud, ecológicos y agrícolas que responden peor a las herramientas habituales de la mejora convencional y de las prácticas agrícolas ecológicas o convencionales. Por tanto, nos reafirmamos en nuestra conclusión del Informe de 1999 de que existe una obligación ética de explorar estos beneficios de manera responsable, para contribuir a la reducción de la pobreza, y para mejorar la seguridad alimentaria y los beneficios de la agricultura en los países en desarrollo" .

Más adelante, afirma:

"... El imperativo moral de hacer que los cultivos transgénicos estén fácil y económicamente disponibles para los países en desarrollo es obligatorio. El Grupo de Trabajo recomienda un aumento en las aportaciones económicas para investigación en

cultivos transgénicos dirigidas a la producción intensiva de alimentos básicos junto con la implementación de salvaguardas internacionales" (pg. 93).

El *Informe sobre el desarrollo humano 2001* de las Naciones Unidas insiste en que es necesario evaluar el uso, o no, de los cultivos transgénicos considerando las demás alternativas, incluida la opción de "seguir como estamos":

*"Se deben comparar todas las posibilidades de acción, incluida la no acción, con respecto a la mejora, en una manera económicamente efectiva y ambientalmente sostenible, de la salud y nutrición humanas y la posibilidad de acceder a una dieta adecuada"*²²⁵.

El informe de la FAO de 2004, *El estado mundial de la agricultura y la alimentación – La biotecnología agrícola, ¿una respuesta a las necesidades de los pobres?*, afirma que el potencial de la biotecnología para satisfacer las necesidades de los agricultores con escasos recursos es inmenso²²⁶. Los cultivos transgénicos pueden ser relativamente fáciles de adoptar por los agricultores porque la tecnología está encerrada en la semilla, y esta es la forma transferible más fácil e independiente de la escala de las tecnologías agrícolas. Reconoce que algunos cultivos transgénicos, como el algodón resistente a insectos, están produciendo importantes ganancias económicas a los pequeños agricultores, así como importantes beneficios sociales y ambientales.

A pesar de las recomendaciones del prestigioso Nuffield Council on Bioethics, de las claras y contundentes afirmaciones del informe de la FAO, y de otras similares del Informe de las Naciones Unidas de 2001²²⁷, durante esta última década se ha extendido un fuerte rechazo a los cultivos transgénicos en toda África subsahariana, influenciado, en gran medida, por la actitud europea en contra de estos alimentos, como defiende Paarlberg²²⁸, que les induce a pensar que seguramente tendrán algún problema para las personas y para el medio ambiente, a pesar de que las organizaciones científicas digan lo contrario.

No es ningún secreto que muchas ONG ecologistas de gran prestigio y aceptación por parte de la ciudadanía europea son totalmente contrarias a los cultivos transgénicos postulando unos riesgos que no se han materializado en los 13 años de cultivos transgénicos cada vez más extendidos en el planeta. A raíz del informe de la FAO de 2004 mencionado, más de 650 organizaciones sociales de todo el mundo enviaron una carta a su director expresando su disconformidad por el respaldo que el informe daba a los cultivos transgénicos²²⁹.

Las actitudes antitransgénicas se han traducido en una importante reducción en las ayudas internacionales para aumentar la productividad de la agricultura en

África, y para promover la investigación y desarrollo de cultivos apropiados, agro-nómica y nutricionalmente²³⁰. El modelo europeo de regulación de los cultivos transgénicos ha sido adoptado por muchos gobiernos africanos aconsejados por personal de las ONG para evitar que Europa rechace los alimentos que importa de diferentes países africanos. La Unión Europea es un bloque económicamente poderoso, con 480 millones de consumidores, en su mayoría acomodados, y "el cliente siempre tiene razón"²³¹. Se dió el caso de que Zambia y Zimbabwe, en la hambruna de 2002 como consecuencia de varios años de sequía persistente, llegaron a rechazar ayuda humanitaria que contenía maíz transgénico para no perder su estatus de "libre de transgénicos" y así mantener sus lucrativas exportaciones de alimentos –ecológicos entre ellos- a Europa.

En 2007 la Unión Africana organizó un Panel de Alto Nivel para estudiar la aplicación de la moderna Biotecnología formado por representantes de muchos estados africanos, así como de Canadá y Estados Unidos, en cuyo informe se recoge claramente que las naciones africanas no pueden permitirse el lujo de prescindir de las nuevas tecnologías agrícolas. Todas las nuevas tecnologías necesitan aplicarse con el suficiente cuidado para proteger la salud humana y el medio ambiente²³². Sin embargo, este informe sigue sin aprobarse oficialmente por la propia Unión Africana, probablemente porque su postura frente a las multinacionales semilleras no es de crítica²³³ como se podría haber esperado por la actitud generalizada de sus gobiernos.

Muchas fundaciones filantrópicas²³⁴, las Naciones Unidas, y los gobiernos de algunos países europeos²³⁵ han reducido gradualmente sus aportaciones para mejorar la productividad de la agricultura en este continente. Sólo recientemente, después de la espectacular subida de los precios de los alimentos como resultado de una fuerte escasez en los últimos 2 años, el Director de la FAO, Jacques Diouf, ha afirmado la necesidad de aumentar la productividad agrícola en África Subsahariana²³⁶.

En los últimos dos ó tres años se han formado diversos consorcios público-privados en los que intervienen fundaciones filantrópicas, multinacionales y centros de investigación para potenciar el desarrollo de cultivos adaptados específicamente a las necesidades de este continente. Entre ellas están la Fundación Bill & Melinda Gates y la Fundación Rockefeller.

Las características transgénicas que preferentemente se están investigando en países en desarrollo son, sobre todo, aquellas que permiten cultivar las variedades locales con la menor cantidad posible de productos agroquímicos (coste elevado) (Tabla 13)²³⁷. El conjunto de las características que confieren resistencia a virus, enfermedades e insectos representa el 66% de los cultivos en desarrollo. Entre ellos destacamos los siguientes: arroz, maíz, sorgo, mandioca (yuca), batata, hortalizas locales, berenjena, patata, tomate, y plátano.

Tabla 13.- Algunos cultivos transgénicos en desarrollo en África

Característica transgénica	Porcentaje
resistencia a virus	27
resistencia a insectos	26
resistencia a hongos	10
resistencia a bacterias	3
características agronómicas (incluye tolerancia a la sequía)	12
tolerancia a herbicidas	5
mejora de la calidad del producto	5

Somos conscientes de que la actitud europea antitransgénicos, y las regulaciones tan restrictivas que han originado, en Europa y en África, se deben, en buena parte, a las prácticas de las multinacionales, al sistema de patentes, y al de comercio internacional. Estos aspectos, que en nuestra opinión es absolutamente necesario modificar, exceden el enfoque de este trabajo, aunque inciden muy directamente en la responsabilidad de los países ricos hacia los más débiles económicamente.

CAPÍTULO V: HACIA UNA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS MÁS SOSTENIBLE: UTILIZACIÓN DE SEMILLAS TRANSGÉNICAS EN LA AGRICULTURA ECOLÓGICA

Hemos visto que los alimentos ecológicos son nutricionalmente equivalentes a los convencionales, como también lo son los alimentos transgénicos que mejoran sus características agronómicas. Otros transgénicos de próxima comercialización claramente aportan mejoras nutricionales. Los datos científicos más recientes de análisis de los genomas de los cultivos transgénicos y convencionales (utilizados por la agricultura ecológica) demuestran convincentemente que tan *naturales*, o tan *artificiales*, son unos como otros. Por tanto, entendemos que la evidencia científica no justifica el rechazo actual de la agricultura ecológica a los cultivos transgénicos.

Entendemos que las panaceas para alimentar a todos los seres humanos, actuales y futuros, y a la vez preservar el medio ambiente, sencillamente no existen. La tierra agrícola nos debe dar alimento y combustible, y a la vez mantener la biodiversidad. A la hora de buscar métodos para producir alimentos diversos y suficientes, que sean sostenibles y justos, debemos utilizar todas las tecnologías que mejor se adapten a cada región concreta, incluidas la biotecnología y las tecnologías más avanzadas, porque el reto es muy grande²³⁸.

Desde la perspectiva de la ética de la responsabilidad, proponemos, como conclusión del presente estudio, que la agricultura ecológica acepte la utilización de determinados cultivos transgénicos: los cultivos resistentes a insectos, y a enfermedades, los tolerantes a la sequía, y los que aportan mejoras nutricionales.

Por respeto a la filosofía de la agricultura ecológica de no utilizar productos químicos de síntesis, dejamos fuera de nuestra propuesta los cultivos tolerantes a herbicidas con una sola excepción, puesto que sí es necesario utilizarlos en su cultivo. Proponemos incluir el maíz y el sorgo tolerantes a herbicidas, transgénicos y/o convencionales, puesto que permiten un eficaz control de la dañina *Striga* en África subsahariana, como ya hemos descrito. La importancia de estos alimentos básicos justifica su inclusión, sin duda, desde la responsabilidad hacia las generaciones presentes y futuras.

De todas maneras queremos resaltar que los cultivos transgénicos tolerantes a herbicidas utilizan productos que son mucho menos agresivos para el medio ambiente que los habituales, requieren cantidades mucho menores de estos compuestos que los cultivos convencionales, y permiten emplear técnicas de bajo laboreo para evitar la erosión de la capa superior del suelo. Estas características de los cultivos tolerantes a herbicidas promueven el empleo de técnicas agronómicas de baja intensidad, en la línea de los pilares de la sostenibilidad y el respeto a la naturaleza, expuestos al comienzo de este trabajo.

En nuestra opinión, la unión de estas dos maneras de producir alimentos –semillas transgénicas y agricultura ecológica- puede resultar altamente beneficiosa, tanto para las generaciones presentes y futuras aquí y en los países en desarrollo, como para el medio ambiente, ya que hay sinergias importantes entre ellas.

Los cultivos transgénicos y la agricultura ecológica no son antagónicos, como muchos pretenden hacernos creer, sino que se complementan. La agricultura ecológica propugna una utilización reducida de los productos químicos de síntesis. En realidad, como hemos visto, prescinde de plaguicidas y fertilizantes químicos utilizando la rotación de cultivos para controlar las plagas y con esto disminuye significativamente la contaminación del suelo y los acuíferos, lo que con toda seguridad es su aspecto medioambiental positivo más destacable. Sin embargo, esta práctica junto con la utilización de los llamados "abonos verdes" en lugar de los fertilizantes químicos solubles son las causas principales de la importante disminución de la productividad de la agricultura ecológica (resultando en precios altos para los consumidores), como ya hemos analizado. Debido a esta inferior productividad, no podemos apoyar el empleo de la agricultura ecológica como procedimiento generalizado para alimentar a la humanidad, ya que obligaría a aumentar considerablemente la superficie labrada, con la consiguiente destrucción de habitats y su biodiversidad animal, vegetal y microbiana.

La reducción de la utilización de plaguicidas que permiten determinados cultivos transgénicos actuales y de próxima comercialización está en la misma línea de razonamiento que la filosofía de la agricultura ecológica. Entre los cultivos ya comercializados hemos examinado las reducciones que permiten los cultivos resistentes a insectos, o cultivos Bt, que además utilizan la misma proteína microbiana autorizada en la agricultura ecológica. La ventaja adicional de estos cultivos frente a los ecológicos es la reducción significativa en la concentración de micotoxinas, como ya hemos analizado. Otro ejemplo de cultivo transgénico que reduce el uso de plaguicidas, ya que no los necesita, es el arroz tolerante a las inundaciones²³⁹ que está, en la actualidad, en la fase de pruebas de campo. Este arroz permite al agricultor inundar el campo y así eliminar las malas hierbas pero no dañar al arroz. Cuando se retira el agua, el arroz tiene una clara ventaja frente a la de otras hierbas que pudieran comenzar a crecer en ese momento.

Los cultivos transgénicos resistentes a insectos y a enfermedades (infestaciones de virus y nematodos) aumentan la productividad por el sencillo método de reducir las pérdidas, sin necesidad de utilizar insumos adicionales. Los cultivos de próxima comercialización tolerantes a la sequía y a terrenos marginales permitirán también mejorar la productividad en condiciones de estrés abiótico difíciles.

Los cultivos tolerantes a la sequía que se comercializarán en un futuro próximo contribuyen doblemente a la sostenibilidad de la producción de alimentos. Por una parte permiten producir, al menos, la misma cantidad de alimentos en condiciones adversas (lo que ya representa un aumento de la productividad que se obtendría de no utilizarse estas semillas), y por otra disminuyen la cantidad de agua que se necesitaría para obtener la misma cantidad de alimento. Teniendo en cuenta que, debido al cambio climático, se

prevé una disminución notable de la cantidad de agua disponible, precisamente en países de África subsahariana, estos cultivos pueden ser muy importantes para sus habitantes.

En Europa y Estados Unidos, hoy por hoy, no es un grave problema que la productividad de la agricultura ecológica no sea tan alta como podría ser, ya que no hay escasez de alimentos y las personas tienen acceso a dietas variadas y nutritivas. Sin embargo en algunos países en desarrollo, la mejora de la productividad de la agricultura es una prioridad muy importante como así lo ha declarado Jacques Diouf, director de la FAO, recientemente²⁴⁰. Además, la previsible escasez de agua que el cambio de las condiciones climáticas pueden potenciar, sobre todo en África y algunos países Europeos como puede ser España, la posibilidad de utilizar cultivos tolerantes a la sequía permitirá mejorar esta productividad en condiciones adversas.

Desde un punto de vista socio-económico, la aceptación de la utilización de semillas transgénicas por la agricultura ecológica, y en última instancia por los consumidores, evitaría los continuos enfrentamientos estériles entre los partidarios de unos y de otros luchando cada uno por la supremacía de su bando, y nos permitiría centrarnos en buscar las mejores soluciones para el medio ambiente y para las personas que, a fin de cuentas, necesitamos alimentos nutritivos, sanos, y en cantidad adecuada. Además, ayudaría a resolver el problema de la disminución de la competitividad de agricultores y ganaderos en Europa. De la misma manera, eliminaría las actuales barreras que muchos países en desarrollo se han impuesto a sí mismos para no poner en entredicho sus exportaciones a Europa, y podrían impulsar verdaderamente su propia producción de alimentos, para beneficio de su ciudadanía principalmente.

A MODO DE EPÍLOGO

Esta propuesta quizá pueda sorprender o, inicialmente, incluso generar cierto rechazo en muchas de las personas sinceramente comprometidas con la agricultura ecológica. Como ya hemos explicado, existe una convicción arraigada según la cual utilizar semillas transgénicas sería considerado como una traición a sus principios. De una lectura detallada de esos principios, sin embargo, entendemos que muchas semillas transgénicas disponibles en la actualidad, o en un futuro próximo, no sólo no contradicen la filosofía de la agricultura ecológica, sino que en muchos casos pueden contribuir a una mayor sostenibilidad de la producción de los alimentos. Así lo hemos expuesto aquí, con referencia detallada a documentos y otras fuentes de información en las que las personas interesadas pueden contrastar los datos aportados.

La experiencia ha venido enseñándonos a las civilizaciones humanas que los prejuicios y el enrocamiento en las posiciones no sólo no son capaces de resolver problemas, sino que muchas veces contribuyen a empeorarlos. Con el deseo de que podamos hallar entre todos un espacio común, animamos a las personas que lean nuestro trabajo a que por un momento dejen de lado las ideas preconcebidas y se detengan a examinar nuestra propuesta de la forma más objetivamente posible. Gustosamente aceptaríamos que nos hagan llegar sus apreciaciones, comentarios, objeciones, con el convencimiento de que el encuentro entre diferentes es siempre enriquecedor.

La película *El Corazón de Jenín* describe cómo una familia palestina dona los órganos de su hijo de 12 años asesinado por soldados israelíes en noviembre de 2005 y con ello salva la vida de 8 niños, entre ellos la hija de una familia judía ultraortodoxa²⁴¹. Al principio, el padre del niño palestino es considerado un traidor hasta que su comunidad ve la película. El director de la película declara que "cuanta más gente en ambos lados se atreva a romper barreras y prejuicios, más cerca estaremos de una posible convivencia". Aunque no es el mismo caso, pensamos que hallar un modo sostenible en el que producir alimentos para todos los seres humanos, es un objetivo por el que merece la pena tratar de sumar esfuerzos.

BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS REFERENCIAS DOCUMENTALES

- ¹ FAO. 2009. "More people than ever are victims of hunger". http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/newsroom/docs/Press%20release%20june-en.pdf. Visitada el 22/10/2009.
- ² M Palacios. 2000. "Bioética práctica para el siglo XXI". En: "*Bioética 2000*", M Palacios (coordinador). Sociedad Internacional de Bioética, pg.15-26.
- ³ Entendemos por ecosistema una entidad dinámica compuesta de una comunidad biológica y el ambiente abiótico en el que se desarrolla. Los ecosistemas se van modificando a lo largo del tiempo. Por una parte, los organismos vivos se adaptan a las condiciones del medio en el que viven y, por otra, ese medio evoluciona como resultado de procesos físico-químicos y geológicos y también de la actividad de los organismos que lo habitan (D. Corenblit, AM Gurnell, J Steiger, E Tabacchi. 2008. "Reciprocal adjustments between landforms and living organisms: Extended geomorphic evolutionary insights". *Catena* 73, 261-273).
- ⁴ Quizá el caso más llamativo de la influencia de los seres vivos en el ecosistema es la transición de una atmósfera prácticamente libre de oxígeno a otra atmósfera oxigenada, hecho ligado a la proliferación de las cianobacterias fotosintetizadoras, hace más de 2.400 millones de años (TW Lyons. 2007. "Oxygen's rise reduced". *Nature* 448, 1005-1006).
- ⁵ LR Kump, ME Barley. 2007. "Increased subaerial volcanism and the rise of atmospheric oxygen 2.5 billion years ago". *Nature* 448, 1033-1036. Este aumento de oxígeno trajo como consecuencia la extinción de casi todos los organismos existentes en aquel momento para los que el oxígeno era altamente tóxico, favoreciendo a la vez la aparición de los organismos aeróbicos entre los que nos encontramos.
- ⁶ A. Trewavas. 2002. Malthus foiled again and again. *Nature* 418, 668-670.
- ⁷ United Nations. "The World at Six Billion". <http://www.un.org/esa/population/publications/sixbillion/sixbilpart1.pdf> Visitada el 7/10/2009.
- ⁸ F. García Olmedo. 2009. *El ingenio y el hambre. De la revolución agrícola a la transgénica*. Crítica. pg. 217.
- ⁹ Fertilizer: History. <http://en.wikipedia.org/wiki/Fertilizer#History>. Visitada el 22/10/2009.
- ¹⁰ F García Olmedo. 2009. Obra citada, pgs. 177-191.
- ¹¹ MJ Chrispeels, DE Sadava. 2004. *Plants, Genes and Agriculture*. Jones and Bartlett Publishers, Boston, pp.
- ¹² RE Green, SJ Cornell, JPW Scharlemann, A Balmford. 2005. "Farming and the fate of wild nature". *Science* 307, 550-555.

- ¹³ D Tilman, KG Cassman, PA Matson, R Naylor, S Polasky. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418, 671-677.
- ¹⁴ A Lecaros. 2008. "Las éticas de la tierra: por qué estamos obligados a responder moralmente a la Tierra". *Bioética & Debat* 14, 15-18.
- ¹⁵ M Palacios. 2000. Obra citada.
- ¹⁶ Comité Asesor de Ética en la Investigación Científica y Técnica. 2004. *Informe – Organismos modificados genéticamente en la agricultura y la alimentación*. Fundación Española de Ciencia y Tecnología.
- ¹⁷ E Muñoz. 2002. *Biotecnología y Sociedad – Encuentros y Desencuentros*. Cambridge University Press. pg. 114.
- ¹⁸ P Taylor. 1986. *Respect for nature - a theory of environmental ethics*. Princeton University Press.
- ¹⁹ J Masiá. 2005. "Ecología y eco-ética". En: *Tertulias de Bioética*. Editorial Sal Terrae, pg. 171.
- ²⁰ Comité Asesor de Ética en la Investigación Científica y Técnica. 2004. Documento citado.
- ²¹ J Masiá. 2005. Obra citada, pg. 170.
- ²² FAO. 2003-2004. *El estado mundial de la Agricultura y la Alimentación. La Biotecnología Agrícola: ¿una respuesta a las necesidades de los pobres?* <http://www.fao.org/docrep/006/Y5160s/Y5160s00.HTM> Visitada el 10/10/2009.
- ²³ Objetivos del Milenio: página web: <http://www.un.org/spanish/millenniumgoals>. Visitada el 22/10/2009.
- ²⁴ La traducción al español de los términos ingleses *safety* y *security* es ambigua puesto que casi siempre se traducen ambos como "seguridad". En este trabajo utilizaremos el término "inocuidad" para referirnos a *safety*, es decir, la ausencia de efectos negativos para la salud de los consumidores, y "accesibilidad" para referirnos a *security*, indicando la disponibilidad de alimentos en cantidad y calidad para todas las personas.
- ²⁵ G Brundtland (ed). 1987. *Our Common Future: The World Commission on Environment and Development*. Oxford University Press.
- ²⁶ DL Meadows, DH Meadows, J Randers, & WW Behrens III. Título original *The Limits to Growth*, New York 1972, publicado en español bajo el título *Los límites del crecimiento. Informe del Club de Roma sobre el Predicamento de la Humanidad*, Fondo de Cultura Económica, México, 1972, en el que los tres primeros autores insistieron veinte años después *Más allá de los límites del crecimiento*, edición castellana en El País-Aguilar, 1992.
- ²⁷ FAO. 2004. *The state of food insecurity in the world. Monitoring progress towards the World Food Summit and Millennium Development Goals*. FAO (ISBN: 92-5-1051X). <http://www.fao.org/docrep/007/y5650e/y5650e00.htm> Visitada el 22/10/2009.
- ²⁸ J Labrador. 2002. "Aproximación a las bases técnicas de la agricultura ecológica". En: *Manual de Agricultura y Ganadería Ecológica* (J. Labrador, J. Porcuna y A. Bello, eds). Sociedad Española de Agricultura Ecológica y EUMEDIA, pgs. 17-26.

- ²⁹ FAO. 2005. *The state of food insecurity in the world. Eradicating world hunger – key to achieving the Millennium Development Goals*. FAO (ISBN: 92-5-105384-7). <http://www.fao.org/docrep/008/a0200e/a0200e00.htm> Visitada el 22/10/2009.
- ³⁰ CC de Lauwere. 2009. "Agricultural entrepreneurship and sustainability – is it a good or bad fit?". En: *Ethical futures: bioscience and food horizons* (K Millar, PH West & B Nerlich, eds). Wageningen Academic Publishers, pp. 211 – 216.
- ³¹ W Aiken. 1998. "The goals of agriculture and weed science". *Weed Science* 46(6), 640-641.
- ³² A Clonan, M Holdsworth, J Swift & P Wilson. 2009. "Awareness and attitudes of consumers to sustainable food", en: *Ethical futures: bioscience and food horizons*. Obra citada, pp. 205 – 210.
- ³³ Página web: <http://www.ias.csic.es/presentacion.htm>. Visitada el 6 de junio de 2009.
- ³⁴ The Keystone Center. 2009. *Field to market: the Keystone Alliance for Sustainable Agriculture*. Primer informe: enero de 2009. <http://www.keystone.org/spp/environment/sustainability/field-to-market>. Aunque, en principio, esta publicación no ha sido sometida todavía a una revisión por pares a la manera de las publicaciones en revistas científicas, el informe recoge en el Apéndice B la opinión de un grupo de 17 expertos externos procedentes de universidades, agencias gubernamentales, y empresas dedicadas a temas de sostenibilidad agrícola.
- ³⁵ JL Porcuna. 2003. "La sanidad de los cultivos agrícolas. El punto de vista agroecológico". En: *Fundamentos de Agricultura Ecológica*. (J de las Heras, C Fabeiro & R Meco, eds). Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, pgs.155-174.
- ³⁶ IM Goklany. 2001. *The Precautionary Principle. A critical appraisal of environmental risk assessment*. Cato Institute, Washington, pg. 29-56.
- ³⁷ Página web de Bayer Crop Science: http://www.bayercropscience.es/BCSWeb/WWW/BCSES_Internet.nsf/id/ES_AC_Generalidades. Visitada el 27/09/2009.
- ³⁸ E Muñoz. 2002. *Biotecnología y sociedad. Encuentros y desencuentros*. Cambridge University Press. pg. 126.
- ³⁹ Nuffield Council on Bioethics. 2004. *The use of genetically modified crops in developing countries – a follow-up discussion paper*. Latimer Trend & Co., pg. 47, párrafo 4.2. http://www.nuffieldbioethics.org/go/ourwork/gmcrops/publication_313.html Visitada el 22/10/2009.
- ⁴⁰ Naciones Unidas. 2001. *Informe sobre el desarrollo humano 2001. Poner el adelanto tecnológico al servicio del desarrollo humano*. pg. 77. http://hdr.undp.org/en/media/HDR_2001_ES.pdf Visitada el 22/10/2009.
- ⁴¹ J Diouf. 2009. *La agricultura hacia 2050: los retos a superar*. <http://www.fao.org/news/story/es/item/36195/icode> Visitada el 12/10/2009.
- ⁴² The Royal Society. 2009. *Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture*. <http://royalsociety.org/displaypagedoc.asp?id=35510>. Visitada el 22/10/2009.

- ⁴³ F García Olmedo. 2009. Obra citada. Pg. 168.
- ⁴⁴ El desarrollo de las técnicas analíticas que posibilitan la cuantificación de cantidades de compuestos hasta los microgramos por kilo (partes por trillón, o ppt) ha contribuido a la percepción de muchas personas de que todo está contaminado con productos químicos.
- ⁴⁵ Para cuando publicó *La primavera silenciosa* era ya muy conocida por sus libros de divulgación científica sobre el mar, *Under the sea-wind* (1941), *The Sea around us* (1951) por el que recibió el Premio Nacional del Libro en 1952 y *The edge of the sea* (1955).
- ⁴⁶ SA Briggs. 1987. "Rachel Carson: her vision and her legacy". En: *Silent Spring Revisited*. GJ Marco, RM Hollingworth, W Durham (eds.), American Chemical Society, Washington DC, pgs 3-11.
- ⁴⁷ En la actualidad el DDT está autorizado en unos veinte países del mundo en los que la malaria es un serio problema de salud pública para controlar el mosquito que propaga la malaria. La Organización Mundial de la Salud recomienda la fumigación de los interiores de las casas (http://www.who.int/ipcs/capacity_building/who_state-ment.pdf). Citado también por F. García Olmedo en el Ingenio y el hambre, pg. 218.
- ⁴⁸ BN Ames, M Profet, LS Gold. 1990. "Dietary pesticides (99.99% all natural)". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 87, 7777-7781.
BN Ames, M Profet, LS Gold. 1990. "Nature's chemicals and synthetic chemicals: comparative toxicology". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 87, 7782-7786.
- ⁴⁹ Glosario de términos relacionados con la agricultura. <http://ucce.ucdavis.edu/files/file-library/1068/8286.pdf> Visitada el 12/10/2009.
- ⁵⁰ Reglamento (CE) 834/2007 del 28 de junio de 2007 sobre producción y etiquetado de los productos ecológicos. Diario Oficial de la Unión Europea L187, pg. 1-22, 20 de julio de 2007. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:189:0001:0023:ES:PDF> Visitada el 6/06/2009.
- ⁵¹ Página del National Organic Program:
http://www.usda.gov/wps/portal/!ut/p/_s.7_0_A/7_0_1OB?navid=ORGANIC_CERTIFICATIO&navtye=RT&parentnav=AGRICULTURE visitada el 12/10/2009.
- ⁵² Véanse los documentos de la FAO:
<http://www.fao.org/ag/ca/la.html>; Conservation agriculture - Conserving resources above -and below- the ground: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai552e/ai552e00.pdf>;
Conservation Agriculture - Matching production with sustainability: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/ch10/ch104.pdf> Visitadas el 12/10/2009.
- ⁵³ MA Altieri. 1999. *Agroecología - bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan-Comunidad, Montevideo, pg. 88.
- ⁵⁴ MA Molina, J Perez. 2004. "La agricultura ecológica en España". En: *Agricultura Ecológica y Alimentación. Análisis y funcionamiento de la cadena comercial de productos ecológicos*. J Briz (coordinador). Fundación Alfonso Martín Escudero, Madrid. pg. 7 - 72.

- ⁵⁵ Reglamento (CE) 834/2007 del 28 de junio de 2007 ya citado.
- ⁵⁶ Declaraciones recogidas en la página web:
<http://www.fao.org/news/story/es/item/29402/icode> Visitada el 12/10/2009.
- ⁵⁷ J Labrador, 2002. "Aproximación a las bases técnicas de la agricultura ecológica". En: *Manual de Agricultura y Ganadería Ecológica*. J Labrador, JL Porcuna, A Bello, editores. Eumedia, pgs. 17-35.
- ⁵⁸ MA Altieri. 1999. Obra citada, pgs. 262-280.
- ⁵⁹ GJ Brewer. 2008. "The risks of free copper in the body and the development of useful anticopper drugs". *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 11(6), 727-732.
- ⁶⁰ Labrador, 2002. Artículo citado, pgs. 291-304.
- ⁶¹ A Trewavas. 2004. A critical assessment of organic farming-and-food assertions with particular respect to the UK and the potential environmental benefits of no-till agriculture. *Crop Protection* 23(9), 757-781.
- ⁶² FAO. 2007. Conferencia internacional sobre agricultura orgánica y seguridad alimentaria. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/012/J9918S.pdf> Visitada el 27/10/2009.
- ⁶³ PC Ronald, RW Adamchack. 2008. *Tomorrow's Table: organic farming, genetics and the future of food*. Oxford University Press, pg. 24. El artículo original, "Food Inc. swallows organics", se puede encontrar en:
<http://www.canada.com/edmontonjournal/news/story.html?id=15471e4c-6c19-452d-af5e-750d61a01888>. Visitada el 10/10/2009.
- ⁶⁴ R Paarlberg. 2008. *Starved for Science: how biotechnology is being kept out of Africa*. Harvard University Press, pg. 102-103.
- ⁶⁵ Food Navigator. 2009. *Soil Association backs down on organic air freight issue*. <http://www.foodnavigator.com/content/view/print/234283>. Visitada el 10/10/2009.
- ⁶⁶ R Paarlberg. 2008. Obra citada, pg. 103.
- ⁶⁷ Disponible en la página web:
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:250:0001:0084:ES:PDF> Visitada el 12/10/2009.
- ⁶⁸ Reglamento CEE nº 2092/91 del Consejo de la Unión Europea, de 24 de junio de 1991, sobre la producción agraria ecológica, y su indicación en los productos agrarios y alimenticios.
- ⁶⁹ Página Web: <http://www.nal.usda.gov/afsic/pubs/ofp/ofp.shtml> Visitada el 12/10/2009.
- ⁷⁰ Página web: <http://www.fao.org/news/story/en/item/7502/icode> visitada el 12/10/2009.
- ⁷¹ La FAO advierte la necesidad de un cambio en la agricultura para poder alimentar al planeta: <http://www.fundacion-antama.org/noticia/la-fao-advierte-la-necesidad-de-un-cambio-en-la-agricultura-para-poder-alimentar-al-planeta> Visitada el 12/10/2009.
- ⁷² B Liebhardt. 2001. "Get the facts right: organic agriculture yields are good". *Information Bulletin*. Organic Farming Research Foundation 10: 1, 4-5.

- ⁷² RF Denison, D Bryant, TE Kearney. 2004. "Crops yields over the first nine years of LTRAS, a long term comparison of field crop systems in a Mediterranean climate". *Field Crops Research* 86: 267-277.
- ⁷³ C Badgley, J Moghtader, E Quintero, E Zakem, MH Chappl, K Avilés-Vázquez, A Samulon, I Perfecto. 2007. "Organic Agriculture and the global food supply". *Renewable Agriculture and Food Systems* 22, 86-108.
- ⁷⁴ KWT Goulding, A Trewavas. 2009. "Can organic agriculture feed the world?". *AgBioWorld* http://www.agbioworld.org/newsletter_wm/index.php?caseid=archive&newsid=2894. Visitada el 24/06/2009.
- ⁷⁵ JL Kitchen, GK McDonald, KW Shepherd, MF Lorimer, RD Graham. 2003. "Comparing wheat grown in South Australian Organic and Conventional wheat farming systems. I. Growth and grain yield". *Australian Journal of Agricultural Research* 54, 889-901.
- ⁷⁶ P Mäder, A Fliessbach, D Dubois, L Gunst, P Fried, U Niggli. 2002. "Soil fertility and biodiversity in organic farming". *Science* 296, 1694-1697.
- ⁷⁷ A Trewavas. 2004. Artículo citado.
- ⁷⁸ "Organic FAQs". *Nature* 428, 796-798.
- ⁷⁹ C. Lacasta. 2003. "Alternativas al uso de herbicidas". En: *Fundamentos de agricultura ecológica* (J de las Heras, C Fabeiro, & R Meco, eds), Servicio de publicaciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, pg. 175 – 192.
- ⁸⁰ J Diouf, 2009. La agricultura hacia 2050: los retos a superar. <http://www.fao.org/news/story/es/item/36195/icode> Visitada el 12/10/2009.
- ⁸¹ L Escajedo San Epifanio. 2008. "Biotechnologie, Santé et Environnement dans L'union Européenne: Aspects Politiques et Juridiques". *Revue du Marché commun et de l'Union européenne*, n°517, avril 2008, pp 255-266.
- ⁸² Artículo 12 del Reglamento (CE) n° 1829/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de septiembre de 2003, sobre alimentos y piensos modificados genéticamente. Accesible en: http://eur-lex.europa.eu/pri/es/oj/dat/2003/l_268/l_26820031018es00010023.pdf Visitada el 26/10/2009.
- ⁸³ Esta técnica se utiliza también en determinaciones de paternidades, en análisis forense para identificar posibles personas de haber cometido un crimen, en análisis de alimentos para identificar especies de animales y vegetales (ej: pimientos rellenos de bacalao), y en muchas otras aplicaciones.
- ⁸⁴ FE Ahmed. 2002. "Detection of genetically modified organisms in foods". *Trends in Biotechnology* 20(5), 215-223.
KH Engel, F Moreano, A Ehlert, U Busch. 2006. "Quantification of DNA from genetically modified organisms in composite and processed foods". *Trends in Food Science and Technology* 17, 490-497.
- ⁸⁵ Boletín Oficial del Estado, 19 de julio de 1986.

- ⁸⁶ La página web del National Organic Program del Departamento de Agricultura contiene amplia información sobre las normativas aplicables en EEUU para la producción de alimentos ecológicos. <http://www.ams.usda.gov/AMSv1.0/nop> Visitada el 10/10/2009.
- ⁸⁷ P Roland, B Fouche. 2006. "Genetic engineering and organic production systems". Publicación 8188 de la University of California, Division of Agriculture and Natural Resources (serie de publicaciones con evaluadores externos).
- ⁸⁸ International Federation of Organic Agricultural Movements, *The Principles of Organic Agriculture*. http://www.ifoam.org/about_ifoam/principles/index.html. Visitada el 28/06/2009.
- ⁸⁹ Sociedad Española de Biotecnología. 2007. *Plantas Transgénicas*. Cuaderno disponible en: <http://www.sebiot.org>. Visitada el 2/09/2009.
- ⁹⁰ Es una situación análoga a la de un procesador *Intel* que llevan la gran mayoría de los ordenadores, independientemente de la marca; o a la de un reproductor de CDs que se adapta a diferentes coches; o a cualquier aparato eléctrico comprado en el Reino Unido al que hay que cambiarle el enchufe para poder utilizarlo en España.
- ⁹¹ D Charles. 2001. *The Lords of the Harvest. Biotec, big money and the future of food*. Perseus Publishing, Cambridge (Mass. USA). Relata la historia de los primeros años del desarrollo de los cultivos transgénicos comerciales.
- ⁹² P Zambryski, H Joos, C Genetello, J Leemans, M Van Montagu, J Schell. 1983. "Ti plasmid vector for the introduction of DNA into Plant Cells without alteration of their normal regeneration capacity". *EMBO Journal* 2(12), 2143-2150.
- ⁹³ KA Barton, AN Binns, AJ Matze, MD Chilton. 1983. "Regeneration of intact tobacco plants containing full length copies of genetically engineered T-DNA and, transmission of T-DNA to R1 progeny". *Cell* 32(4), 1033-1043.
- ⁹⁴ RT Fraley, SG Rogers, RB Horsch, PR Sanders, JS Flick, SP Adams, ML Bittner, LA Brand, CL Fink, JS Fry, GR Galluppi, SB Goldberg, NL Hoffmann, SC Woo. 1983. "Expression of bacterial genes in plant cells". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 80, 4803-4807.
- ⁹⁵ C James. Global review of Commercialized transgenic crops, 1999. Informe 12-1999.
- ⁹⁶ C James. 2009. "Situación mundial de la comercialización de cultivos biotecnológicos/transgénicos en 2008". Brief 39. <http://www.isaaa.org>. Visitada el 38/06/2009.
- ⁹⁷ Genetic Engineering vs. Traditional Breeding Timeline. Animación interactiva. <http://croptechnology.unl.edu/download.cgi>. visitada el 26/10/2009.
- ⁹⁸ A Slater, N Scott, M Fowler. 2008. *Plant Biotechnology: the genetic manipulation of plants* (2ª edición). Oxford University Press.
- ⁹⁹ A Slater, NW Scott, MR Fowler. 2008. Obra citada, capítulo 6. Existen también otras cepas de esta bacteria que producen proteínas tóxicas para coleópteros (tales como el escarabajo de la patata) o dípteros (como el mosquito).

- ¹⁰⁰ Página web <http://extoxnet.orst.edu/pips/bacillus.htm> Visitada el 22/10/2009.
- ¹⁰¹ Una vía metabólica es un conjunto ordenado de reacciones químicas por las que un compuesto concreto se transforma en otro compuesto necesario para el funcionamiento de la célula. Por ejemplo, la glucosa de la dieta puede transformarse en glucógeno, o en lípidos, o en otra serie de compuestos diferentes. Cada una de estas reacciones está catalizada por un enzima que es una proteína capaz de llevar a cabo esa reacción.
- ¹⁰² A Slater, NW Scott, MR Fowler. 2008. Obra citada, pg. 105-132.
- ¹⁰³ A Slater, NW Scott, MR Fowler. 2008. Obra citada, pg. 105-132.
- ¹⁰⁴ MJ Shipitalo, RW Malone, LB Owens. 2008. "Impact of glyphosate-tolerant soybean and glufosinate-tolerant corn production on herbicide losses in surface runoff". *Journal of Environmental Quality* 37, 401-408.
- ¹⁰⁵ MR Tuinstra, S Soumana, K Al-Khatib, I Kapran, A Toure, A van Ast, L Bastiaans, NW Ochanda, I Salami, S Dembele. 2009. "Efficacy of herbicide seed treatments for controlling Striga infestations of sorghum". *Crop Science* 49, 923-929.
- ¹⁰⁶ C Gonsalves, DR Lee, D Golsaves. 2004. "Transgenic virus-resistant papaya: the Hawaiian "Rainbow" was rapidly adopted by farmers and is of major importance in Hawaii today". American Plant Society <http://www.apsnet.org/online/feature/rainbow/papaya.pdf>. Visitada el 22/10/2009.
- ¹⁰⁷ International Food Policy Research Institute. 2009. "Climate change. Impact on agriculture and costs of adaptation". <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/pr21.pdf> Visitada el 28/09/2009.
- ¹⁰⁸ National. Center for Atmospheric Research.: http://www.ucar.edu/news/releases/2005/drought_research.shtml
- ¹⁰⁹ Ver documento en la página web de la FAO: ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/factsheet_wwf_spa.pdf Visitada el 22/10/2009.
- ¹¹⁰ GO Edmeades. 2008. *Drought tolerance in maize: an emerging reality*. <http://www.isaaa.org>
- ¹¹¹ JM de la Fuente, V Ramirez-Rodriguez, JL Cabrera-Ponce, L Herrera-Estrella. 1997. "Aluminum tolerance in transgenic plants by alteration of citrate synthesis". *Science* 276, 1566-1568.
J Lopez-Bucio, O Martinez de la Vega, A Guervara-Garcia, L Herrera-Estrella. 2000. "Enhanced phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate". *Nature Biotechnology* 18(4), 450-453.
- ¹¹² P Christou, RM Twyman. 2004. "The potential of genetically enhanced plants to address food insecurity". *Nutrition Research Reviews* 17, 23-42.
- ¹¹³ B Grant. 2009. "Where is the super food?". *The Scientist*, sept. 2009, pg. 31- 37.
- ¹¹⁴ HE Bouis, BM Chassy, JO Ochanda. 2003. "Genetically modified food crops and their contribution to human nutrition and food quality". *Trends in Food Science and Technology* 14, 191-209.

- ¹¹⁵ Nota de la Agencia de Inspección Alimentaria de Canadá autorizando el maíz alto en lisina: <http://www.inspection.gc.ca/english/plaveg/bio/dd/dd0661e.shtml>. Visitada el 22/10/2009.
- Nota de Monsanto describiendo la autorización del Departamento de Agricultura de EEUU autorizando el maíz alto en lisina:
<http://monsanto.mediaroom.com/index.php?s=43&item=69&printable> Visitada el 22/10/2009.
- ¹¹⁶ Fundación Antama: <http://www.fundacion-antama.org/noticia/canad-aprueba-un-nuevo-tipo-de-soja-transgenica> Visitada el 22/10/2009.
- ¹¹⁷ AJ Kinney, S Knowlton. 1998. "Designer oils: the high oleic acid soybean". En: *Genetic modification in the food industry. A strategy for food quality improvement*. S Roller, S Harlander (eds.). Blackie Academic & Professional. London, pg.s 193-211.
- ¹¹⁸ C Zhu, S Naqvi, S Gomez-Calera, AM Pleacho, T Capell, P Christou. 2007. "Transgenic strategies for the nutritional enhancement of plants". *Trends in Plant Science* 12(12), 548-555.
- ¹¹⁹ Datos citados en la página web del "Golden Rice": <http://www.goldenrice.org> Visitada el 5/09/2009.
- ¹²⁰ JA Paine, CA Shipton, S Chaggar, RM Howells, MJ Kennedy, G Vernon, SY Wright, E Hinchiffle, JL Adams, AL Silverstone, R Drake. 2005. "Improving the nutritional value of Golden Rice through increased pro-vitamin A content". *Nature Biotechnology* 23, 482-487.
- ¹²¹ G Tang, J Qin, GG Dolnikowski, RM Russell, & MA Grusak. 2009. "Golden Rice is an effective source of vitamin A". *American Journal of Clinical Nutrition*. 15 de abril, d.o.i: 10.3945/ajcn.2008.27119.
- ¹²² I Potrykus. 2001. "Golden Rice and beyond". *Plant Physiology* 125, 1157-1161.
- ¹²³ S Naqvi, C Zhu, G Farre, K Ramessar, L Bassie, J Breitenbach, D Pérez-Conesa, G Ros, G Sandmann, T Capell, P Christou. 2009. "Transgenic multivitamin corn through bio-fortification of endosperm with three vitamins representing three distinct metabolic pathways". *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 106, 7762-7767.
- ¹²⁴ S Ufaz, C Galili. 2008. "Improving the content of essential amino acids in crop plants". *Plant Physiology* 147, 954-961.
- ¹²⁵ E Butelli, L Titta, M Giorgio, HP Mock, A Matros, S Peterek, EGWM Schijlen, RD Hall, AG Bovy, J Luo, C Martin. 2008. "Enrichment of tomato fruits with health-promoting anthocyanins by expression of select transcription factors". *Nature Biotechnology*, 26, 1301-1308.
- ¹²⁶ HG Damude, AJ Kimney. 2008. "Enhancing plant seed oils for human nutrition". *Plant Physiology* 147, 962-968.
- ¹²⁷ Directiva 2001/18/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 12 de marzo de 2001 sobre la liberación intencional en el medio ambiente de organismos modificados genéticamente.

- Accesible en <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2001:106:0001:0038:ES:PDF> visitada el 26/10/2009.
- 128 EFSA. 2006. *Guidance document of the scientific panel on Genetically Modified Organisms for the Risk Assessment of Genetically Modified Plants and Derived Food and Feed*. Y su actualización de 2008. http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_1178620775747.htm. Para los genes apilados: Guidance document for the risk assessment of genetically modified plants containing stacked transformation events by the Scientific Panel on Genetically Modified Organisms (mayo 2007). http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_1178623591786.htm.
- 129 European Group on Ethics. 2008. Informe en http://ec.europa.eu/european_group_ethics/docs/agriculture_technologies_ethics.pdf Visitada el 22/10/2009.
- 130 Organización Mundial de la Salud. 2002. "20 preguntas sobre los alimentos modificados genéticamente". http://www.who.int/foodsafety/publications/biotech/en/20questions_es.pdf visitada el 4/10/2009.
- 131 Declaración conjunta de la Academia de Ciencias de Brasil, la Academia de Ciencias de China, la Academia Nacional de Ciencias de India, la Academia de Ciencias de México, la Academia Nacional de Ciencias de EEUU, la Real Sociedad del Reino Unido, y la Academia de Ciencias del Tercer Mundo. 200. *Transgenic Plants and World Agriculture*. Accesible en http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=9889 Visitada el 27/10/2009.
- 132 Declaración de la FAO sobre biotecnología. 2000. Accesible en <http://www.fao.org/biotech/stat.asp?lang=es> Visitada el 27/10/2009.
- 133 British Medical Association. 2004. "Genetically modified foods and health: a second interim statement". http://www.bma.org.uk/images/GM_tcm41-20804.pdf Visitada el 4/10/2009.
- 134 Union of the German Academies of Science and Humanities. 2006. "Are there health hazards for the consumers from eating genetically modified foods?". http://www.akademienunion.de/_files/memorandum_gentechnik/GMGeneFood.pdf visitada el 4/10/2009.
- 135 GM Science Review: An open Review of the science relevant to GM crops and food based on the interest and concern of the public. The Royal Society (London) First Report July 2003, Second Report January 2004. <http://www.gmsciencedebate.org.uk/report/pdf/gmsci-report2-pt1.pdf> Visitada el 4/10/2009.
- 136 Society of Toxicology Position Paper. 2002. "The safety of genetically modified foods produced through biotechnology". http://www.toxicology.org/ai/gm/GM_Food.asp Visitada el 4/10/2009.

- 137 BM Chassy. 2002. "Food safety evaluation of crops produced through biotechnology". *Journal of the American College of Nutrition*, 21, 166S-173S.
- 138 Informe BEETLE Report. *Long-term effects of genetically modified (GM) crops on health and the environment (including biodiversity): prioritisation of potential risks and delimitation of uncertainties*. Mayo 2009. <http://ec.europa.eu/environment/bio-technology/pdf/beetle-report.pdf>. Visitada el 29/07/2009.
- 139 EFSA. 2009. Consolidated presentation of the joint Scientific Opinion of the GMO and BIOHAZ Panels on the "Use of Antibiotic Resistance Genes as Marker Genes in Genetically Modified Plants" and the Scientific Opinion of the GMO Panel on "Consequences of the Opinion on the Use of Antibiotic Resistance Genes as Marker Genes in Genetically Modified Plants on Previous EFSA Assessments of Individual GM Plants". Question number: EFSA-Q-2009-00589, EFSA-Q-2009-00593, EFSA-Q-2008-411, EFSA-Q-2008-04977. http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_1211902604575.htm Visitada el 4/10/2009.
- 140 RA Etzel. 2002. "Mycotoxins". *Journal of the American Medical Association* 287(4), 425-427.
- 141 GP Munkvold, RL Hellmich, LG Rice. 1999. "Comparison of fumonisin concentrations in kernels of transgenic Bt maize hybrids and nontransgenic hybrids". *Plant Disease* 83(2), 130-138.
BG Hammond, KW Campbell, CD Pilcher, TA DeGooyer, AE Robinson, BL McMillen, SM Spangler, SG Riordan, LG Rice, JL Richard. 2004. "Lower fumonisin mycotoxin levels in the grain of Bt corn grown in the United States in 2000-2002". *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52(5), 1390-1397.
- 142 B Bakan, D Melcion, D Richard-Molard, B Cahagnier. 2002. "Fungal growth and *Fusarium* mycotoxin content in isogenic traditional maize and genetically modified maize grown in France and Spain". *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 728-731.
- 143 Reglamento CE 1126/2007 de la Comisión, del 28 de septiembre de 2007 que modifica el Reglamento CE 1881/2006 por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios por lo que se refiere a las toxinas de *Fusarium* en el maíz y los productos del maíz. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:255:0014:0014:ES:PDF> Visitada el 22/10/2009.
- 144 Rapid Alert System for Food and Feed: http://ec.europa.eu/food/food/rapidalert/index_en.htm Visitada el 26/10/2009.
- 145 Fundación Antama. <http://www.fundacion-antama.org/noticia/cinco-os-sin-alertas-por-micotoxinas-en-el-ma-z-transg-nico>. Visitada el 28/09/2009.
- 146 F Wu. 2007. "Bt corn and impact on mycotoxins". *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 60 (2), 8 pg.

- 147 FAO. 2004. *Los trabajadores agrícolas necesitan más protección contra los plaguicidas*. <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2004/50709/index.html>. Visitada el 19/10/2009.
- 148 J Huang, R Hu, S Rozelle, C Pray. 2005. "Insect-resistant GM rice in farmers' fields: assessing productivity and health effects in China". *Science* 308, 688-690.
- 149 Asociación Española de Agricultura de Conservación: <http://www.aeac-sv.org/html/intro.html>. Visitada el 22/10/2009.
- 150 S Sankula, G Marmon, E Blumenthal. 2005. *Biotechnology-derived crops planted in 2004 – Impacts on US Agriculture*. National Center for Food and Agricultural Policy. <http://www.whybiotech.com/resources/tps/BiotechnologyDerivedCropsPlantedin2004.pdf> Visitada el 19/10/2009.
- 151 European Group on Ethics in Science and New Technologies to the European Commission. 2008. "Ethics of modern developments in agriculture technologies. Opinion No. 24". http://ec.europa.eu/european_group_ethics/docs/agriculture_technologies_ethics.pdf Visitada el 22/10/2009.
- 152 MJ Shipitalo, RW Malone, LB Owens. 2008. Artículo citado.
- 153 RF Service. 2007. "A growing threat down on the farm". *Nature* 316, 1114-1117.
- 154 JH Benedict. 2003. "Strategies for controlling insect, mite, and nematode pests". En: *Plants, Genes and Crop Biotechnology*. Obra citada, pgs. 414-445.
- 155 D Gurian-Sherman. 2009. *Failure to Yield: evaluating the performance of genetically engineered crops*. Estudio encargado por la Union of Concerned Scientists. Abril 2009. http://www.ucsusa.org/food_and_agriculture/science_and_impacts/science/failure-to-yield.html Visitada el 22/10/2009.
- 156 JH Benedict. 2003. Referencia citada.
- 157 D Gurian-Sherman. 2009. Obra citada.
- 158 S Sankula, G Marmon, E Blumenthal. 2005. Referencia citada.
- 159 J Huang y cols. 2005. Artículo citado.
- 160 FAO. 2004. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Obra citada, pg. 54.
- 161 JH Benedict. 2003. Referencia citada.
- 162 KM Wu, YH Lu, HQ Feng, YY Jiang, JZ Zhao. 2008. "Suppression of cotton bollworm in multiple crops in China in areas with Bt toxin-containing cotton". *Science* 321, 1676-1678.
- 163 HJ Atkinson, J Green, S Cowgill, A Levesley. 2001. "The case for genetically modified crops with a poverty focus". *Trends in Biotechnology* 19(3), 91-96.
- 164 MJ Chrispeels, DE Sadava. 2003. Obra citada.
- 165 El desarrollo de la papaya transgénica resistente a virus se describe en la página web de la American Phytopathological Society: <http://www.apsnet.org/education/feature/papaya>. Visitada el 11/10/2009.
- 166 C James. 2009. Documento citado.

- 167 T Raney, P Pingali. 2007. "Agricultura transgénica". *Investigación y Ciencia*, noviembre 2007, 60-67.
- 168 M Gómez-Barbero, J Berbel, E Rodríguez-Cerezo. 2008. "Bt corn in Spain – the performance of the EU's first GM crop". *Nature Biotechnology* 26(4), 384-386.
- 169 A Bravo, M Soberón. 2008. "How to cope with insect resistance to Bt toxins". *Trends in Biotechnology*. 26,573-579.
- 170 DEFRA Farm Scale Evaluations:
<http://www.defra.gov.uk/environment/quality/gm/crops/fse.htm> Visitada el 16/10/2009. A través de esta página se puede acceder también a las publicaciones científicas correspondientes.
- 171 JE Losey, LS Rayor, M Carter. 1999. "Transgenic pollen harms monarch larvae". *Nature* 399, 214.
- 172 La página del Departamento de Agricultura de Estados Unidos
<http://www.ars.usda.gov/is/br/btcorn> recoge las publicaciones científicas pertinentes así como gran cantidad de información sobre este caso.
- 173 M Marvier, C McCreedy, J Regetz, & P Kareiva. 2007. "A meta-analysis of effects of Bt cotton and maize on nontarget invertebrates". *Science* 316, 1475-1477.
- 174 MJ Crawley, SL Brown, RS Hails, DD Kohn, & M Rees. 2001. "Transgenic crops in natural habitats". *Nature* 409, 682-683.
- 175 WJ Belasco. 2007. *Appetite for change: how the counterculture took on the food industry*. Cornell University Press, pg. 220 – 221.
- 176 F García Olmedo. 2009. Obra citada, pg. 221.
- 177 K Ammann. 2008. "Integrated farming: why organic farmers should use transgenic crops". *New Biotechnology* 25, 101-106.
- 178 JM Baker, ND Hawkings, JL Ward, A Lovegrove, JA Napier, MH Beale. 2006. "A metabolomic study of substantial equivalence of field-grown genetically modified wheat". *Plant Biotechnology Journal* 4, 381-392; MM Baudo, R Lyons, S Powers, GM Pastori, KJ Edwards, MJ Holdsworth, PR Shewry. 2006. "Transgenesis has less impact on the transcriptome of wheat grain than conventional breeding". *Plant Biotechnology Journal* 4, 369-380; R Batista, N Saibo, T Lourenço, MM Oliveira. 2008. "Microarray analysis reveal that plant mutagenesis may induce more transcriptomic changes than transgene insertion". *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 105, 3640-3645.g
- 179 La radiación ultravioleta del sol es una de las causas que originan las mutaciones espontáneas. Como es conocido, esta radiación es la causa habitual de la transformación de una célula de la piel en célula cancerosa, origen de un melanoma. Las mutaciones espontáneas tienen un papel central en la evolución de las especies.
- 180 BS Ahloowalia, M Maluszynski, K Nichterlein. 2004. "Review: Global impact of mutation-derived varieties". *Euphytica* 135, 187-204.
- 181 Poner en Google "Shijian-8". Artículo del NYTimes de 14 de abril de 1990, "Space seeds no threat, NASA says" de John Noble Wilford.

- <http://www.nytimes.com/1990/04/14/us/space-seeds-no-threat-nasa-says.html>;
China makes progress in space seed breeding:
http://english.peopledaily.com.cn/200510/16/eng20051016_214639.html
- 182 PJ Larkin, WR Scowcroft. 1981. "Somaclonal variation: a novel source of variability from cell culture for plant improvement". *Theoretical and Applied Genetics*. 60, 197-214.
 - 183 M Lotfi, AR Alan, MJ Henning, MM Jahn, ED Earle. 2003. "Production of haploid and doubled haploid plants of melon (*Cucumis melo* L.) for use in breeding for multiple virus resistance". *Plant Cell Reports* 21, 1121-1128.
 - 184 K Ammann. 2008. Artículo citado.
 - 185 LJ Stadler. 1928. "Mutations in barley induced by X-rays and radium". *Science* 68, 186-187.
 - 186 AM van Harten. 1998. *Mutation Breeding: theory and practical applications*. Hardcove Publishers, pgs: 1-39.
 - 187 Joint FAO/IAEA Program: <http://www-naweb.iaea.org/nafa/about-nafa/index.html>. Visitada el 25/06/2009.
 - 188 BS Ahloowalia, M Maluszynski, K Nichterlein. 2004. artículo citado.
 - 189 N Fedoroff, NM Brown. 2004. *Mendel in the kitchen*. Joseph Henry Press, Washington, pg. 18-19.
 - 190 N Fedoroff, NM Brown. 2004. Obra citada, pg. 16.
 - 191 El Mundo Digital del 30 de Julio de 2009. <http://www.elmundo.es/elmundosalud/2009/07/29/nutricion/1248888711.html>.
 - 192 RV Akeley, WR Mills, CE Cunningham, J Watts. 1968. "Lenape: a new potato variety high in solids and chipping quality". *American Potato Journal* 45, 142-145.
 - 193 N Fedoroff, NM Brown. 2004. Obra citada, pg. 171-172.
 - 194 A Zitnak, GR Johnston. 1970. "Glycoalkaloid content of B5141-6 potatoes". *American Potato Journal*, 47, 256-260.
 - 195 N Fedoroff, NM Brown. 2004. Obra citada, pg. 171-172.
 - 196 KS Rymal, OL Chambliss, MD Bond, DA Smith. 1984. "Squash containing toxic cucurbitacin compounds occurring in California and Alabama". *Journal of food Protection* 47(4), 270-271.
 - 197 PJ Seligman, CGT Mathias, MA O'Malley, RC Beier, LJ Fehrs, WS Serrill, WE Halperin. 1987. "Phytophotodermatitis from celery among grocery store workers". *Archives of Dermatology* 123, 1478-1482.
 - 198 EFSA. 2009. *2007 Annual report on pesticide residues according to Article 32 of Regulation (EC) no. 396/2005*. EFSA Scientific Report 305, 1-106. http://www.efsa.europa.eu/cs/BlobServer/Report/EFSA_2007_Annual_Report_Pesticide%20Residue_en,0.pdf?ssbinary=true. Visitada el 30/07/2009.
 - 199 EFSA. 2009. Scientific Report 305, 1-106. Documento ya citado, pg. 29. Los Anexos se pueden encontrar en la Página: http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_12119026677778.htm Visitada el 30/06/2009.

- 200 Food Standards Agency del Reino Unido: <http://www.food.gov.uk/news/newsarchive/2009/aug/letter> Visitada el 18/08/2009.
- 201 F Magkos, F Arvaniti, A Zampelas. 2006. "Organic food: buying more safety or just peace of mind?. A critical review of the literature". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 46, 23-56.
- 202 MD Raigón. 2007. *Alimentos ecológicos, calidad y salud*. Ediciones de la Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, pg. 15.
- 203 F. Magkos, F. Arvaniti, A. Zampelas. 2006. Artículo citado.
- 204 Food Standards Agency del Reino Unido. El informe está disponible en la página web: <http://www.food.gov.uk/healthiereating> entrando en "Organic review published". Visitada el 30/07/2009.
- AD Dangour, SK Doodhia, A Hayter, E Allen, K Lock, R Uauy. 2009. "Nutritional quality of organic foods: a systematic review". *American Journal of Clinical Nutrition* 90, 680-685.
- 205 Como ya hemos indicado, la agricultura convencional de baja intensidad comparte prácticas agronómicas con la ecológica, sin ser "agricultura ecológica certificada". En el estudio de la FSA no se han incluido resultados de agricultura mixta o integrada.
- 206 Food Standards Agency. Julio 2009. Comparison of composition (*nutrients and other substances*) of organically and conventionally produced foodstuffs: a systematic review of the available literature". <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/organicreviewappendices.pdf> Visitada el 18/08/2009.
- 207 Carta del Director Ejecutivo de la Food Standards Agency del 7 de agosto de 2009. <http://www.food.gov.uk/news/newsarchive/2009/aug/letter>. Visitada el 18/08/2009.
- 208 M Kristensen, LF Østergaard, U Halekoh, H Jørgensen, C Lauridsen, K Brandt, S Bügel. 2008. "Effect of plant cultivation methods on content of major and trace elements in foodstuffs and retention in rats" *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88(12), 2161-2172.
- 209 C Caris-Veyrat, MJ Amiot, V Tissandier, y cols. 2004. "Influence of organic versus conventional agricultural practice on the antioxidant microconstituent content of tomatoes and derived purees; consequences on antioxidant plasma status in humans". *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52, 6503-6509.
- 210 DM Barrett, C Weakley, JV Diaz, M Watnik. 2008. "Qualitative and nutritional differences in processing tomatoes grown under commercial organic and conventional production systems". *Journal of Food Science* 72, C441-C451.
- 211 P Collier. 2008. "The politics of hunger". *Foreign Affairs* 87(6), 67-30.
- 212 European Group on Ethics. 2008. *Ethics of modern developments in agriculture technologies*. http://ec.europa.eu/european_group_ethics/docs/agriculture_technologies_ethics.pdf Visitada el 22/10/2009.

- ²¹³ Reglamento 1829/2003/CE y Reglamento 1830/2003/CE del 18 de septiembre de 2003. Diario Oficial de la Unión Europea del 18 de octubre de 2003, L268/24-28.
- ²¹⁴ M Hickman. 2009. "Big stores counting the cost of ban on GM food". *The Independent*, 1 de septiembre de 2009. <http://www.independent.co.uk/environment/green-living/big-stores-counting-the-cost-of-ban-on-gm-food-1779870.html>. Visitada el 2/09/2009.
- ²¹⁵ P Barato. Cursos de Verano de El Escorial, agosto 2009. Fundación Antama: <http://www.fundacion-antama.org/noticia/el-bloqueo-europeo-de-los-omgs-dejar-los-agricultores-comunitarios-fuera-del-mercado>. Visitada el 1/09/2009.
- ²¹⁶ LH Aramyan, CPA van Wagenberg, GBC Backus. *EU Policy on GM soy – tolerance threshold and asynchronic approval*. Informe 2009-052. Proyecto 31582, LEI Wageningen UR, La Haya. Mayo 2009. <http://edepot.wur.nl/7856> Visitada el 22/10/2009.
- ²¹⁷ European Commission, Directorate-General for Agriculture and Rural Development. 2007. *Economic impact of unapproved GMOs on EU feed imports and livestock production*. Bruselas. http://ec.europa.eu/agriculture/envir/gmo/economic_impactGMOs_en.pdf Visitada el 22/10/2009.
- ²¹⁸ Noticia publicada por EuroCarne Digital el 24 de agosto de 2009. http://www.eurocarne.com/index.php?noticias/ultimas/ficha_noticia.php?codigo=14490&fechanoticia=20090824. Visitada el 31/08/2009.
- ²¹⁹ Fundación Antama: <http://www.fundacionantama.org/noticia/ministros-y-agricultores-britanicos-apuestan-por-el-aumento-de-importacion-de-omgs>. Visitada el 1/09/2009.
- ²²⁰ R Paarlberg. 2008. Obra citada, pg. 3.
- ²²¹ R Paarlberg. 2008. Obra citada, pg. 1-20.
- ²²² Citado en "Las malas hierbas, la principal amenaza de los agricultores". Fundación Antama. 2009. <http://www.fundacion-antama.org/noticia/las-malas-hierbas-la-principal-amenaza-de-los-agricultores>. Visitada el 4/09/2009.
- ²²³ Nuffield Council on Bioethics. 2004. *The use of genetically modified crops in developing countries. A follow-up discussion paper*. Latimer Trend & Co., pg. 48. http://www.nuffieldbioethics.org/go/ourwork/gmcrops/publication_313.html. Visitada el 11/10/2009.
- ²²⁴ Nuffield Council on Bioethics. 2004. Documento citado, pg. xvi.
- ²²⁵ Naciones Unidas. 2001. *Informe sobre el desarrollo humano 2001. Poner el adelanto tecnológico al servicio del desarrollo humano*. Pg. 62. <http://www.undp.org/en/reports/global/hdr2001/chapters/spanish>. Visitada el 11/10/2009.
- ²²⁶ FAO. 2004. Informe disponible en <http://www.fao.org/docrep/006/Y5160s/Y5160s00.HTM>. Visitada el 22/10/2009.

- 227 Naciones Unidas. 2001. Informe citado.
- 228 Esta es una de las tesis principales del libro de R Paarlberg ya mencionado, *Starved for science*.
- 229 Se puede consultar en: <http://www.grain.org/m/?id=26#> Visitada el 22/10/2009.
- 230 D Taverne. 2007. "The real GM food scandal". *Prospect*, noviembre 2007, 24-27.
- 231 R Paarlberg, 2008. Obra citada. pg. 179-195.
- 232 C Juma, I Serageldin. 2007. *Freedom to innovate. Biotechnology in Africa's development*. African Union. http://www.nepadst.org/doclibrary/pdfs/biotech_africa-rep_2007.pdf. Visitada el 11/10/2009.
- 233 Editorial "A fruitless campaign". 2008. *Nature* 456, pg. 421-422.
- 234 R Paarlberg, 2008. Obra citada, pg. 106-110.
- 235 R Paarlberg, 2008. Obra citada, pg. 124-134.
- 236 Intervención del Director de la FAO en el Parlamento italiano el 17 de septiembre de 2008 a propósito de la crisis provocada por el aumento de los precios de los alimentos y su impacto sobre la seguridad alimentaria mundial. Página web: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2008/1000922/index.html>. Visitada el 22/10/2009.
- 237 JI Cohen. 2005. "Poorer nations turn to publicly developed GM crops". *Nature Biotechnology* 23, 27-33.
- 238 K Ammann. 2002. "Thoughts about the future of agriculture: science and fiction in the risk assessment debate". En: *Sustainable food security for all by 2020: Proceedings of an International Conference*. International Food Policy Research Institute. Washington. Naciones Unidas. 2001. *Informe sobre el Desarrollo Humano 2001*. Documento citado.
- 239 Kenong Xu, Xia Xu, Takeshi Fukao, Patrick Canlas, Reyce Maghirang-Rodriguez, Sigrid Heuer, Abdelbagi M. Ismail, Julia Bailey-Serres, Pamela C. Ronald, David J. Mackill. "Sub1A is an ethylene-response-factor-like gene that confers submergence tolerance to rice" 2006. *Nature* 442, 705-712.
- 240 Intervención del Director de la FAO citada más arriba.
- 241 "Un corazón contra el odio". Artículo publicado en XLSemanal el 30 de agosto de 2009. La película El corazón de Jenín fue premiada como mejor documental en el último Festival de Valladolid.